

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE
TEORÍA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES



INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN
SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN

**Modernización de la Red de
Transmisión en el Acceso para
Telefonía Móvil**

Autora: Rebeca Picazo Picón
Tutora: Ana García Armada

Índice de Contenidos

0. AGRADECIMIENTOS	14
1. OBJETIVOS.....	15
2. CONTENIDO DEL PROYECTO	18
3. EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES	20
3.1. Sistemas de Comunicaciones Móviles	20
3.2. Generaciones de Telefonía Móvil	24
3.2.1. Primera Generación: 1G	25
3.2.2. Segunda Generación: 2G	26
3.2.2.1. GSM	27
3.2.2.2. GPRS y EDGE	32
3.2.3. Tercera Generación: 3G.....	33
3.2.3.1. UMTS	34
3.2.3.2. HSPA	36
3.2.3.3. HSPA+.....	37
3.2.4. Cuarta Generación: 4G	38
3.2.4.1. LTE.....	39
3.2.4.2. WIMAX.....	43
3.2.5. Quinta Generación: 5G.....	43
4. ARQUITECTURA DE LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL.....	45
4.1. Arquitectura de la Red de la Primera Generación	45
4.2. Arquitectura de la Red de la Segunda Generación	47
4.2.1. Arquitectura de la Red GSM	47
4.2.2. Arquitectura de la Red GSM con GPRS/EDGE.....	50
4.3. Arquitectura de la Red de la Tercera Generación.....	51
4.4. Arquitectura de la Red de la Cuarta Generación	56
5. SITUACIÓN DE PARTIDA	59
5.1. PDH y SDH en redes TDM/ATM	59
5.1.1. PDH	60
5.1.2. SDH	62
5.1.3. ATM	64
5.2. Primeras Redes de transporte de telefonía móvil	65
5.2.1. Arquitectura de Red.....	66
5.2.2. Escenarios disponibles en la red de acceso	68
5.2.2.1. Escenarios en L-RAN	68
5.2.2.2. Escenarios en H-RAN.....	72
5.2.3. Equipos de radioenlaces usados en la red de partida	75
5.2.3.1. Minilink HC.....	76
5.2.3.2. Minilink TN.....	76
5.2.3.3. Minilink E.....	77

6. PROCESO DE MODERNIZACIÓN Y MIGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO	79
6.1. Nuevos conceptos tecnológicos	79
6.2. Equipos usados en la migración	84
6.2.1. Tellabs	85
6.2.2. SIU.....	87
6.2.3. MiniLink TN	89
6.2.3.1. Hardware instalado para la modernización de la red de estudio	90
6.2.3.2. Funcionalidades destacables en la migración.....	93
6.2.3.2.1. Modulación adaptativa	93
6.2.3.2.2. Transporte de tráfico híbrido en la interfaz aire	95
6.3. Migración y Modernización	96
6.3.1. Conexiones y Dimensionamiento en LTRAN	97
6.3.1.1. Conexiones entre equipos	97
6.3.1.2. Dimensionamiento y Direcciones IP	99
6.3.1.3. Transmisión y Transporte mediante Minilink TN.....	101
6.3.1.4. Transmisión y Transporte mediante FTTN Carrier Ethernet	104
6.3.2. Conexiones y Dimensionamiento en HRAN.....	106
6.3.2.1. Conexiones entre equipos	106
6.3.2.2. Transmisión y Transporte basado en SDH.....	111
6.3.2.3. Transmisión y Transporte basado en Carrier Ethernet	112
6.3.3. VPNs en la red MPLS final	116
7. SITUACIÓN FINAL.....	121
8. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	122
9. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS	127

Índice de Figuras

Figura 1: Comunicaciones móviles/inalámbricas	23
Figura 2: Reutilización de frecuencias en una red celular	29
Figura 3: Tipos de células	30
Figura 4: Combinación de las técnicas TDMA/FDMA en GSM	31
Figura 5: Velocidades LTE según estudio Marzo 2015 OpenSignal	42
Figura 6: Evolución de los estándares existentes y nuevas tecnologías	44
Figura 7: Elementos de la arquitectura de red de 1G	46
Figura 8: Elementos de la arquitectura de red de 2G	47
Figura 9: Red de transmisión de acceso en GSM	49
Figura 10: Elementos de la arquitectura de red de 2.5G	50
Figura 11: Elementos de la arquitectura de red UTM	51
Figura 12: Equipo de usuario en UTM	52
Figura 13: Red principal en UTM	52
Figura 14: Red UTRAN en UTM	53
Figura 15: Red de transmisión de acceso UTM	55
Figura 16: Arquitectura de red LTE	56
Figura 17: Elementos de la arquitectura de red LTE	57
Figura 18: Esquema básico de TDM	60
Figura 19: Jerarquías SDH	62
Figura 20: Proceso de formación de la señal síncrona STM-N	63
Figura 21: Proceso de transferencia de información en ATM	65
Figura 22: Topología de red en el despliegue	67
Figura 23: Capacidades de los radioenlaces en Low RAN en el despliegue	71
Figura 24: Capacidades de los radioenlaces en High RAN en el despliegue	73
Figura 25: Conectividad End to End de la red de partida	73
Figura 26: Ejemplo POC de Madrid en la red de partida	74
Figura 27: Configuración Minilink HC	76
Figura 28: Configuraciones y bastidor Minilink TN	77
Figura 29: Equipos Tellabs usados en la red modernizada	87
Figura 30: Equipo SIU y sus interfaces de conexión	88
Figura 31: Bastidores usados de la familia Minilink TN	91
Figura 32: Procesadoras NPU1C/NPU3B y tarjetas de interfaces Ethernet ETU2B/ETU3 a instalar en los AMM20p/AMM6pC	93
Figura 33: Modulación adaptativa	94
Figura 34: Transporte híbrido PDH/Ethernet	95
Figura 35: Conectividad de la SIU en emplazamiento con salida por LL	98
Figura 36: Conectividad de la SIU en emplazamiento con salida por RE	99
Figura 37: Red de transporte con radioenlaces Ethernet en LRAN	104
Figura 38: Red de transporte FTTN Carrier Ethernet en LRAN	105
Figura 39: Conectividad de Tellabs 8630 en XPOC	107
Figura 40: Conectividad entre Tellabs 8630 y Tellabs 8660	108
Figura 41: Conectividad de Tellabs 8660 en estaciones controladoras	110
Figura 42: Esquema de conectividades HRAN: SDH o Red Óptica Ethernet	113
Figura 43: Esquema End to End (extremo a extremo) de la red modernizada	114
Figura 44: Ejemplo POC de Madrid en la red final	115

Figura 45: Visión global de la Red MPLS con las VPN y VRF.....	118
Figura 46: Configuración nodo del POC y VPNs entre Tellabs.....	119

Índice de Tablas

Tabla 1: Bandas de Frecuencia de la Interfaz Radio GSM	28
Tabla 2: Frecuencias asignadas y tecnologías usadas por las principales operadoras en España	41
Tabla 3: Jerarquías PDH en Europa	61
Tabla 4: Configuraciones de los radioenlaces en Low RAN en el despliegue	70
Tabla 5: Configuración de los radioenlaces en High RAN en el despliegue.....	72
Tabla 6: Capacidades Modem PDH inicial en Minilink E.....	78
Tabla 7: Tecnologías Ethernet	80
Tabla 8: Modem MMU2H y sus capacidades en la interfaz aire.....	92
Tabla 9: Direccionamiento IP por emplazamiento para el tráfico de gestión y O&M	99
Tabla 10: Capacidades y criterios de diseño para la red final.....	102

Acrónimos

- 3GPP:** *3rd Generation Partnership Project*. Proyecto Asociación de Tercera Generación.
- 5G NORMA:** *5G NOvel Radio Multiservice Adaptive Network Architecture*. Arquitectura de Red Adaptativa de Multiservicios Radio Innovadores
- 5G PPP:** *5G Public Private Partnership*. Asociación privada-pública para el 5G
- ADM:** *Add-Drop Multiplexer*. Multiplexores de Inserción-Extracción.
- AM:** *Amplitude Modulation*. Modulación en Amplitud.
- AMM:** *Access Module Magazine*. Bastidor de Acceso al Módulo.
- ATM:** *Asynchronous Transfer Mode*. Modo de Transferencia Asíncrono.
- AUC:** *Authentication User Center*. Centro de Autenticación de Usuario.
- BS:** *Base Station*. Estación Base.
- BSC:** *Base Station Controller*. Controladora de Estación Base.
- BGP:** *Border Gateway Protocol*. Protocolo de Puerta de Enlace Fronterizo.
- BSS:** *Base Station Subsystem*. Subsistema de Estación Base.
- BTS:** *Base Transceiver Station*. Estación Base Transceptora (transmisora-receptora).
- CDMA:** *Code Division Multiple Access*. Acceso Múltiple por División de Código.
- CN:** *Core Network*. Red de Núcleo (Central).
- CS:** *Circuit Switched*. Conmutación de Circuitos.
- CSMA/DC:** *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*. Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detector de Colisiones
- DL:** *Downlink*. Enlace Descendente.
- DSL:** *Digital Subscriber Line*. Línea de Abonado Digital.
- DXX:** *Digital Cross-Connect*. Cross-Conectores Digitales.
- eNodeB:** *Evolved Node B*. Nodo B Evolucionado.

eUTRAN: *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*. Red de Acceso Radio Terrestre UMTS Evolucionada.

EB: Estación Base.

EDGE: *Enhanced Data Rates for GSM Evolution*. Tasas de Datos Mejoradas para la Evolución del GSM.

EIR: *Equipment Identification Register*. Registro de Identificación de Equipo.

ELP: *Equipment and Line Protection*. Protección de Línea y Equipo.

EPC: *Evolved Packet Core*. Núcleo de Paquetes Evolucionado.

EPS: *Enhanced Packet System*. Sistema de Paquetes Mejorado.

FDD: *Frequency Division Duplexing*. División de Frecuencia Dúplex.

FDMA: *Frequency Division Multiple Access*. Acceso Múltiple por División de Frecuencia.

FM: *Frequency Modulation*. Modulación en Frecuencia.

FS: *Fixed Station*. Estación Fija.

FTTN: *Fiber to the Node*. Fibra hasta el Nodo.

GGSN: *Gateway GPRS Support Node*. Nodo de Soporte de la Compuerta GPRS.

GPRS: *General Packet Radio Service*. Servicio General de Paquetes Vía Radio.

GSM: *Global System for Mobile Communications*. Sistema Global para Comunicaciones Móviles.

HLR: *Home Location Register*. Registro de Ubicación Base.

HRAN: *High RAN*. RAN Alta.

HSDPA: *High Speed Downlink Packet Access*. Acceso de Paquetes de Alta Velocidad en Enlace Descendente.

HSPA: *High Speed Packet Access*. Acceso de Paquetes de Alta Velocidad.

HSPA+: *High Speed Packet Access Plus*. Acceso de Paquetes de Alta Velocidad Evolucionado.

HSS: *Home Subscriber Server*. Servidor de Abonados Base.

HSUPA: *High Speed Uplink Packet Access*. Acceso de Paquetes de Alta Velocidad en Enlace Ascendente.

IFM: *Interface Module*. Módulo de Interfaz.

IMS: *IP Multimedia Subsystem*. Subsistema Multimedia IP.

IDU: *Indoor Unit*. Unidad Interior.

IP: *Internet Protocol*. Protocolo de Internet.

ISDN: *Integrated Services Digital Network*. Red Digital de Servicios Integrados.

LAN: *Local Area Network*. Red de Área Local.

LL: *Leased Line*. Línea Alquilada.

LOS: *Line of Sight*. Línea de Vista.

LRAN: *Low RAN*. RAN baja.

LER: *Label Edge Router*. Enrutador Frontera de Etiquetas.

LSP: *Label Switched Path*. Camino Conmutado por Etiquetas.

LSR: *Label Switched Router*. Enrutadores Conmutadores de Etiquetas.

LTE: *Long Terminal Evolution*. Evolución a Largo Plazo.

LTU: *Line Terminal Unit*. Unidad de Terminación de Línea.

ME: *Mobile Equipment*. Equipo Móvil.

MLPPP: *Multi Link Point to Point Protocol*. Protocolo Punto a Punto Multienlace.

MME: *Mobility Management Entity*. Entidad de Gestión de la Movilidad.

MMS: *Multimedia Messaging Service*. Servicio de Mensajería Multimedia.

MMU: *Modem Unit*. Unidad Módem (Módulador-Demodulador).

MPLS: *Multiprotocol Label Switching*. Protocolo de Conmutación por Etiquetas.

MS: *Mobile Station*. Estación Móvil.

MSC: *Mobile Switching Central*. Central de Conmutación Móvil.

NSS: *Network Switching Subsystem*. Subsistema de Conmutación de Red.

NTP: *Network Time Protocol*. Protocolo de Tiempo (Reloj) de Red.

O&M: *Operations and Maintenance*. Operación y Mantenimiento.

ODU: *Outdoor Unit*. Unidad Exterior.

OFDM: *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales.

OMC: *Operations and Maintenance Center*. Centro de Mantenimiento y Operaciones.

OSPF: *Open Shortest Path First*. Protocolo de El Camino Más Corto Primero.

OSS: *Operation Support Subsystem*. Subsistema de Soporte a las Operaciones.

PAMR: *Public Access Mobile Radio*. Radio Móvil de Acceso Público.

PDH: *Plesiochronous Digital Hierarchy*. Jerarquía Digital Plesiócrona.

PDN: *Packet Data Network*. Red de Paquetes de Datos.

PLMN: *Public Land Mobile Network*. Red Móvil Pública.

PMR: *Private Mobile Radio*. Radio Móvil Privada.

PMS: *Portable Mobile Station*. Estación Móvil Portátil.

POC: *Point of Concentration*. Punto de Concentración.

POH: *Path OverHead*. Cabecera de Ruta.

POS: *Packet Over SDH*. Paquetes Sobre SDH/SONET.

PS: *Packet Switched*. Conmutación de Paquetes.

PS: *Portable Station*. Estación Portátil.

PWE3: *Pseudowire End-to-End*. Pseudocable Extremo a Extremo.

QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*. Modulación de Amplitud en Cuadratura.

QoS: *Quality of Service*. Calidad de Servicio.

RAN: *Radio Access Network*. Red de Acceso Radio.

RAU: *Radio Access Unit*. Unidad de Acceso Radio.

RNC: *Radio Network Controller*. Controlador de la Red Radio.

RNS: *Radio Network Subsystem*. Subsistema de la Red Radio.

RSU: *Remote Switching Unit*. Unidad de Conmutación Remota.

RTPC: Red Telefónica Pública Conmutada.

S-GW: *Serving-Gateways*. Compuertas de Servicio.

SAE: *System Architecture Evolution*. Evolución de la Arquitectura del Sistema.

SDH: *Synchronous Digital Hierarchy*. Jerarquía Digital Síncrona.

SDMA: *Space Division Multiple Access*. Acceso Múltiple por División de Espacio.

SFP: *Small Form-Factor Pluggable*. Módulo Enchufable Pequeño.

SGSN: *Serving GPRS Support Node*. Nodo de Soporte del Servicio GPRS.

SIM: *Subscriber Identity Module*. Módulo de Identificación de Usuario.

SIU: *Site Integration Unit*. Unidad de Integración del Sitio.

SMS: *Short Message Service*. Servicio de Mensaje Corto.

SMU: *Switch Multiplexer Unit*. Unidad Multiplexadora y de Conmutación.

STM-X: *Synchronous Transport Module (Level X)*. Módulo de Transporte Síncrono (Nivel X).

TDD: *Time Division Duplexing*. División de Tiempo Dúplex.

TDM: *Time Division Multiplexing*. Multiplexación por División de Tiempo.

TDMA: *Time Division Multiple Access*. Acceso Múltiple por División de Tiempo.

TMA: Telefonía Móvil Automática.

TU: *Tributary Unit*. Unidad de Tributario.

UE: *User Equipment*. Equipo de Usuario.

UHF: *Ultra High Frequency*. Frecuencia Ultra Alta.

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.

UL: *Uplink*. Enlace Ascendente.

UMTS: *Universal Mobile Telecommunications System*. Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles.

USIM: *Universal Subscriber Identity Module*. Módulo de Identificación de Abonado Universal.

UTRAN: *UMTS Terrestrial Radio Access Network*. Red de Acceso Radio Terrestre UMTS.

VC: *Virtual Container*. Contenedor Virtual.

VHF: *Very High Frequency*. Frecuencia Muy Alta.

VLR: *Visitor Location Register*. Registro de Ubicación de Visitante.

VPN: *Virtual Private Network*. Red Privada Virtual.

VRF: *VPN Routing and Forwarding*. Enrutamiento y Reenvío de VPN

WAN: *Wide Area Network*. Red de Área Amplia.

WAP: *Wireless Application Protocol*. Protocolo de Aplicaciones Inalámbricas.

WCDMA: *Wideband Code Division Multiple Access*. Acceso Múltiple por División de Código de Banda Ancha.

WWW: *Word Wide Web*. Red Informática Mundial.

0. AGRADECIMIENTOS

Parecía que este momento nunca iba a llegar. Más de ocho años con la espinita clavada, con la tarea pendiente de realizar el proyecto fin de carrera, con esa carga sobre mí. Primero fueron temas laborales, luego personales y más tarde todo se complicó.....

Mucha gente sólo verá esto como entregar por fin el proyecto y acabar, como tantas personas que están así, pero quienes me conocen saben que para mí va mucho más allá. Es un paso más hacia adelante, un seguir caminando y un cerrar cosas pendientes y bloqueantes, para poder continuar avanzando. Significa también el retomar partes de mí, de mi vida que tuvieron que ser aparcadas, significa el haber sacado fuerzas para volver a ellas, significa el seguir pasito a pasito.

Por el inmenso valor que tiene para mí, quiero agradecer a todo el mundo que me ha apoyado y animado especialmente en estos meses, a los que habéis estado ahí para decirme que ya no quedaba nada, que ya casi estaba, que sólo faltaba el último empujón, confiando en mí y diciéndome las palabras que necesitaba oír en el momento que necesitaba oírlas. Muchas gracias a mi familia y a mis amigos por haber aguantado tan bien mi "modo proyecto" y mis agobios. Gracias a mi tutora, Ana, por haber hecho posible que diera el último pasito para cerrar esta puerta, por la confianza depositada y por tus consejos y sugerencias.

Y aunque me quito un gran peso de encima y estoy orgullosa de haber llegado hasta este momento, me queda igualmente el duro pesar de que tú Alex, mi vida, ya no estés aquí para ver que por fin cumplí este objetivo. Ha sido difícil hasta el volver a pisar la universidad sin ti y recorrer de nuevo los pasillos que tantas veces caminamos juntos, y ha sido muy duro ponerme a escribir sabiendo que tú no lo leerías ni me verías en la presentación como yo te vi a ti haciéndome sentir la mujer más afortunada del mundo, como infinidad de veces después me volví a sentir gracias a tí. Tú sabías lo que esto significaba entre todas nuestras circunstancias y por eso sé que me has mandado toda la fuerza que he necesitado desde donde ahora estés. Gracias por tu eterno e incondicional apoyo. Esto es para ti.

1. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto fin de carrera es describir la evolución y modernización de la red de acceso de transmisión de las operadoras de telefonía móvil. La necesidad de mejorar y optimizar sus redes ha sido un punto clave para todas las operadoras que han visto cómo las nuevas tecnologías que se han ido implantando y desarrollando con el paso de los años dejaban obsoletas sus primeras redes móviles desplegadas, tanto por la limitación de los equipos y de las interfaces y protocolos que usaban, como por los medios de transmisión por los cuales se transportaba la información.

El *boom* tecnológico que se está viviendo en nuestra sociedad en los últimos años y en concreto en las comunicaciones móviles, que cada vez ofrecen a los usuarios mayores anchos de banda con los que navegar, nuevas aplicaciones, servicios, mayores velocidades de descarga...junto con la existencia de multitud de dispositivos disponibles que nos permiten estar conectados en todo momento, tales como tabletas, *smarthphones*, módems usb, *e-watches*, hacen que estemos ante un crecimiento exponencial en lo que al consumo de datos móviles se refiere.

Desde el punto de vista de la sociedad y consumidores de estos servicios, todos los avances que estamos experimentando en las comunicaciones móviles los queremos ver reflejados básicamente en disponer de muy buena cobertura y una gran velocidad ("muchos Megas"), y es ahí donde viene el arduo trabajo de las operadoras de telefonía móvil ya que tienen que encontrar la mejor manera de ofrecer esto a los usuarios. Parte de este trabajo es continuar desplegando y mejorando las estaciones base en sus redes, ya que estas estaciones son las que se conectan a nuestros terminales y dispositivos móviles y de las que se recibe la cobertura radio. Y la otra parte fundamental es la de evolucionar y modernizar la red de transmisión de datos, ya que por muy buena cobertura que podamos tener, si la red por la que deben viajar los datos y el tráfico no soporta las tecnologías y estándares de las distintas generaciones de telefonía móvil, sería totalmente imposible obtener las velocidades y prestaciones que éstas pueden llegar a ofrecer. Igual de importante es por tanto, disponer de buena cobertura radio como de una buena red de transmisión que permita comunicar las estaciones a las que los usuarios se conectan con el resto de equipos de la red.

Esta última parte es la que se va a describir en este proyecto. Se entrará en detalle en el proceso llevado a cabo por una de las operadoras de nuestro país para evolucionar su red desde la inicial desplegada con la primera tecnología que implantó hasta llegar a su red actual en la cual convergen la multitud de tecnologías existentes hoy en día, GSM, GPRS, EDGE, HSPA, HSPA+ y LTE. Se describirá por tanto la optimización y modernización de una red real y para ello se explicarán las tecnologías que usa, los equipos instalados, las conexiones entre ellos, el dimensionamiento y direccionamiento de la red y todo lo necesario para comprender dicha evolución hacia lo que se llama hoy en día *all IP*.

Son muchos los grupos de personas y departamentos involucrados para poder llevar a cabo esta evolución y modernización de la red, ingenieros de diseño y optimización tanto de transmisión como de radio, técnicos de campo, instaladores, integradores así como personal de mantenimiento, monitorización y supervisión.

Durante los últimos cinco años de mi vida laboral he participado activamente en la modernización de las redes de transporte de varias operadoras trabajando en el grupo de ingenieros de RAN (*Radio Access Network*) del suministrador Ericsson, llevando a cabo tareas de NTD&O (*Network Transmission Design&Optimization*) y he querido reflejar en este proyecto el trabajo realizado sobre una de esas redes.

Como parte del grupo encargado de diseñar la red de transmisión para la modernización, mis tareas han consistido en:

- Asegurar la visión directa entre emplazamientos a enlazar por radioenlace solicitando y confirmando la existencia o no de LOS (*Line of Sight*)
- Realizar el diseño de los enlaces radio con las capacidades y configuraciones demandadas por la operadora asegurando que cumplieran los objetivos de calidad e indisponibilidad establecidos
- Solicitar a los suministradores los aumentos de caudal necesarios en las líneas alquiladas ya existentes así como las nuevas líneas de transporte para reemplazar a las desplegadas en la red inicial
- Asegurar el correcto aprovisionamiento de los circuitos (VLANs, extremos, capacidades,...)

- Generación de la documentación de diseño de los equipos pertenecientes a lo que denominaremos más adelante LRAN (*Low RAN*) y HRAN (*High RAN*). Esta documentación es conocida como *layouts* y detalla la configuración de los equipos, la interconexión entre ellos, el direccionamientos IP, el *hardware* instalado...
- Generación de los *Inputs* de transmisión y de las rutas estáticas para poder crear los scripts que se cargarán en las SIUs y las rutas en los equipos de agregación Tellabs (se detallarán más adelante)
- Generación de las topologías de red, donde se representa la conectividad a nivel de enlace de todos los nodos
- Elaboración de los documentos que describen cualquier cambio a realizar en la red: ampliación de un radioenlace, instalación de un Tellabs, modernización de una estación base, reemplazo de unos equipos por otros, migración de tráfico....

La generación de esta documentación, informes de línea de vista, *layouts*, diseños de los radioenlaces en los casos de conectividad por microondas, topologías y documentos descriptivos de los trabajos a realizar, son usados por los otros grupos (técnicos de campo, integradores y personal de operación y mantenimiento) para realizar las instalaciones e integraciones de las estaciones base, HUBs, POCs, Tellabs y controladoras y llevar a cabo el trabajo detallado en los procesos de modernización y migración que se detallan en el proyecto. La realización de estas tareas de diseño de la red es parte fundamental del proceso de la modernización de la red.

Debido a que se describirán cambios y actualizaciones hechas en la red desde el primer despliegue hasta la actualidad, hay que tener en cuenta que todo el proceso descrito en este proyecto se ha ido haciendo de manera gradual y progresiva conforme se iban detectando nuevas necesidades para poder ofrecer al cliente los servicios añadidos y las mayores velocidades que se demandaban con las nuevas tecnologías de comunicaciones móviles.

2. CONTENIDO DEL PROYECTO

En el proceso de descripción de la modernización de la red de transmisión en la parte del acceso de las redes de telefonía móvil, vamos a estructurar este proyecto en varios bloques cuyo contenido será, a partir de los siguientes capítulos:

- Capítulo 3 "EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES": describe los sistemas de comunicaciones móviles, sus clasificaciones, los elementos que los componen y su evolución. Muestra también un repaso de las distintas generaciones de telefonía móvil celular desde el primitivo 1G hasta el ya en desarrollo e investigación 5G reflejando los cambios que se han experimentado con el paso de todas ellas en cuanto a tipo de tráfico y volumen.
- Capítulo 4 "ARQUITECTURA DE LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL": describe para cada generación de telefonía móvil el esquema y la arquitectura de su red, detallando los bloques que la componen, las interfaces, sus características más importantes y sus estándares. Se hace una introducción a las redes de acceso, su ubicación en el conjunto global de la red y sus funciones principales así como un pequeño análisis de las limitaciones que presentaban las técnicas empleadas en los primeros despliegues ante la necesidad de mayores volúmenes y velocidades de datos.
- Capítulo 5 "SITUACIÓN DE PARTIDA": describe la primera red desplegada por la operadora en cuya red hemos basado este proyecto, explicando los protocolos, tecnologías, equipos y estructura de su red. Se detallan los tipos de escenarios que nos podíamos encontrar en la red inicial, los medios de transmisión y las técnicas empleadas para transportar las señales.
- Capítulo 6 "PROCESO DE MODERNIZACIÓN Y MIGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO": describe en primer lugar las nuevas tecnologías, protocolos y estándares usados para evolucionar y modernizar la red heredada del primer despliegue de la operadora. También se mencionan y detallan los nuevos equipos que se integran en la red, sus características y su funcionamiento y cómo fueron reemplazando a los antiguos, explicando la migración de las distintas partes de la red de acceso. Se detallan todas

las conexiones realizadas entre los distintos elementos de la red así como el dimensionamiento y el tipo de transporte que se llevaba a cabo hasta la migración definitiva.

- Capítulo 7 "SITUACIÓN FINAL": muestra la red actual de la operadora tras haber llevado a cabo la sustitución de los equipos, la migración del tráfico, las actualizaciones necesarias, las ampliaciones de caudal o capacidad de los medios de transmisión, y todas las medidas adoptadas para acabar teniendo una red cuya infraestructura está basada en paquetes e IP, requisitos que eran necesarios para la última tecnología desplegada o en proceso de despliegue, el LTE.
- Capítulo 8 "CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS": describe cómo la modernización y evolución llevada a cabo en la red de transmisión de acceso de la operadora ha hecho posible cubrir las necesidades de aumentos de capacidad que iban siendo demandadas con la evolución de las distintas tecnologías de comunicaciones móviles, 2G, 3G, 4G. Se introduce también la próxima generación que está en fase de desarrollo, investigación y estandarización, el 5G, y se mencionan las principales características que la diferenciarán de sus predecesoras. Se habla también de la norma que está en fase de buscar una óptima arquitectura de red para esta nueva generación.

3. EVOLUCIÓN DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES

3.1. Sistemas de Comunicaciones Móviles

Por definición de la UIT, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el servicio móvil es un servicio de radiocomunicaciones entre estaciones móviles y estaciones terrestres fijas, o entre estaciones móviles únicamente.

Por tanto, las comunicaciones móviles tienen lugar cuando tanto el emisor como el receptor están, o pueden estar, en movimiento. La movilidad de estos dos elementos que se encuentran en los extremos de la comunicación hace que no sea factible la utilización de hilos (cables) y utilizan básicamente la comunicación vía radio ya que existe una variación continua del trayecto radioeléctrico.

De esta forma, el sistema estará compuesto por:

- Estaciones móviles (MS, *Mobile Station*): equipos portátiles, móviles o instalados en vehículos.
- Estaciones fijas (FS, *Fixed Station*): estaciones bases (suelen disponer de los equipos de transmisión y radio), repetidores (transmiten la misma señal que reciben) o estaciones de control (gobiernan el funcionamiento de otra estación de radio en un emplazamiento fijo).
- Equipos de control: gobiernan las estaciones base.

La comunicación entre ambas estaciones es bidireccional, estableciéndose dos enlaces:

- Enlace ascendente (UL, *Uplink*): desde la estación móvil a la estación base.
- Enlace descendente (DL, *Downlink*): desde la estación base a la móvil.

La interfaz radio es la interfaz entre ambas estaciones (móvil-base) y limitará las prestaciones del sistema debido principalmente a dos factores:

- Características de la transmisión por radio: inestabilidad de la señal, distorsión, interferencia, desvanecimiento...
- Limitación de ancho de banda. La Dirección General de Telecomunicaciones tiene reglado el uso de las distintas frecuencias del espectro radioeléctrico para diversos servicios. A cada operador en el mercado se le asigna cierto ancho de banda, en ciertas frecuencias

delimitadas, que debe repartir para el envío y la recepción del tráfico a los distintos usuarios (ya que éstos por una parte reciben la señal del otro extremo, y por otra envían su parte de la "conversación").

Los sistemas de comunicaciones móviles pueden clasificarse en función de varios criterios:

- Según la modalidad de funcionamiento:
 - ✓ Transmisión bidireccional: Radiotelefonía.
 - ✓ Transmisión unidireccional: Radiobúsqueda, radiomensajería.
- Según el tipo de señal transportada:
 - ✓ Analógicos.
 - ✓ Digitales.
- Según la técnica de acceso múltiple al medio físico encargado de la comunicación en el sentido estación móvil a estación base:
 - ✓ FDMA (*Frequency Division Multiple Access*): Acceso múltiple por división en frecuencia.
 - ✓ TDMA (*Time Division Multiple Access*): Acceso múltiple por división en tiempo.
 - ✓ CDMA (*Code Division Multiple Access*): Acceso múltiple por división en código.
 - ✓ SDMA (*Space Division Multiple Access*): Acceso múltiple por división en espacio.
- Según el sector de la aplicación o el tipo de red:
 - ✓ Privados:
 - PMR, *Private Mobile Radio*:
 - cobertura básicamente local.
 - no están conectados a la RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada).
 - tradicionalmente disponían de técnicas de acceso FDMA.

- PAMR, *Public Access Mobile Radio*: Son sistemas para telefonía móvil privada desarrollados por operadores con licencia que ofertan sus servicios a terceros (licencias TETRA en España).
 - Algunos ejemplos de sistemas privados son los usados por taxis, policías y bomberos.
- ✓ Públicos:
- PLMN, *Public Land Mobile Network*.
 - TMA, Telefonía Móvil Automática.
 - Características:
 - están conectados a la RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada).
 - pueden ofrecer cobertura global, desde una nación a un continental o global.
 - emplea sistemas digitales.
 - ofrecen servicios como transmisión de datos, mensajería unidireccional y radiolocalización.
 - usan técnicas de acceso TDMA y CDMA.
 - Algunos ejemplos de sistemas públicos son TACS, GSM, GPRS, UMTS...
- ✓ Inalámbricos:
- La comunicación no se establece por un medio de propagación físico (cables) sino que se utilizan las ondas electromagnéticas.
 - Algunos ejemplos de sistemas inalámbricos son DECT, WiFi o *bluetooth*.

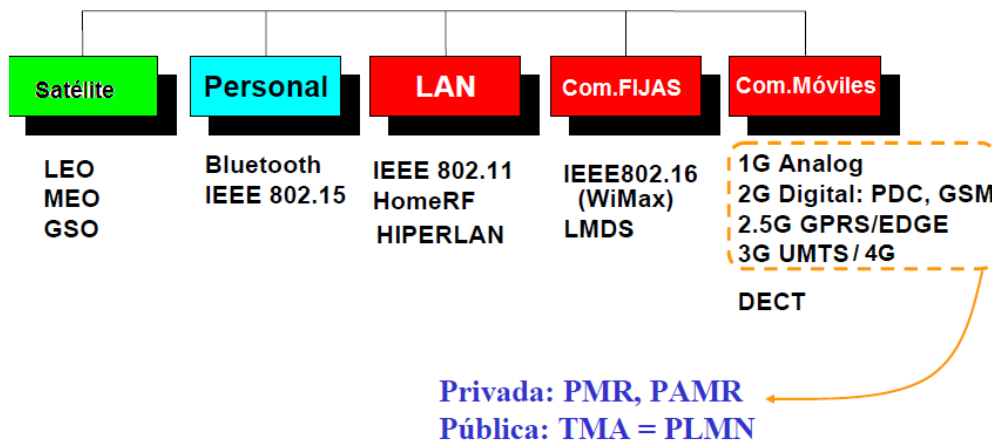


Figura 1: Comunicaciones móviles/inalámbricas

- Según la banda de frecuencia utilizada:
 - ✓ Banda VHF, *Very High Frequency* (30-300MHz; utilizada en sistemas PMR, PAMR)
 - VHF baja de 30 a 89 MHz.
 - VHF alta de 140 a 170 MHz.
 - VHF Banda "III" de 223 a 235 MHz.
 - ✓ Banda UHF, *Ultra High Frequency* (300MHz-3GHz; utilizada en sistemas PMR/PAMR o PLMN/PMT según subbanda)
 - UHF baja de 406 a 470 MHz (sistemas PMR/PAMR).
 - UHF alta de 862 a 960 MHz (sistemas PLMN/PMT).
 - Banda de 1800 a 1900 MHz (sistemas PLMN/PMT).
 - Banda de 2GHz (sistemas PLMN/PMT).
 - ✓ Otras bandas: 1700MHz, 2.5GHz, 5GHz... (sistemas inalámbricos)
- Según la modalidad de explotación de la comunicación:
 - ✓ *Símples*: la comunicación sólo se permite en un sentido, es unidireccional.
 - ✓ *Semidúplex*: la comunicación es bidireccional pero no simultánea. Cada extremo de la conexión transmite uno después del otro.

- ✓ *Dúplex*: la comunicación es bidireccional y simultánea. Dicha simultaneidad se consigue en telefonía móvil empleando frecuencias separadas.

Las comunicaciones móviles no aparecieron de forma comercial hasta finales del siglo XX. Los países nórdicos fueron los pioneros en disponer de sistemas de telefonía móvil, radiobúsquedas y redes móviles privadas o *Trunking*. Los sistemas de telefonía móvil avanzados fueron el siguiente paso. Después llegó la telefonía móvil digital y con la rápida adopción mundial de las agendas personales, ordenadores portátiles, *netbooks* y numerosos dispositivos, las comunicaciones móviles se usaron cada vez más para conectarse vía radio con otros equipos o redes. Finalmente cabe destacar la fusión entre comunicaciones móviles e Internet, lo que fue el verdadero punto de inflexión positivo para estos dos elementos.

3.2. Generaciones de Telefonía Móvil

El objetivo de las redes de telefonía móvil es ofrecer servicios de telecomunicaciones a través de una infraestructura fija (las denominadas anteriormente estaciones base) a usuarios que no se encuentran conectados por cable a ella. El servicio que prestan es orientado al público en general, diferenciándose por ejemplo de las utilizadas por los servicios de policía, bomberos, ejército o el teléfono inalámbrico del hogar. De ahí que la telefonía móvil esté enmarcada dentro de los llamados sistemas públicos.

La telefonía móvil, también llamada telefonía celular, básicamente está formada por dos grandes partes: una red de comunicaciones y los terminales que permiten el acceso a dicha red.

Los terminales, más conocidos como los propios teléfonos móviles, cuentan en la actualidad con numerosas aplicaciones que pueden facilitar diversas labores cotidianas, navegar por internet a altas velocidades, descargas de datos, mayores anchos de banda, acceso a prensa, correo electrónico....

Los primeros sistemas de telefonía móvil comenzaron su desarrollo en los años 40 en Estados Unidos. Inicialmente se trataba de sistemas analógicos que usaban modulación en amplitud (AM, *Amplitude Modulation*) aunque con el paso del tiempo fueron evolucionando hacia el uso de sistemas modulados en

frecuencia (FM, *Frequency Modulation*) que ofrecían mejor calidad y eran más inmunes a las interferencias. Trabajaban en las bandas HF y VHF.

Desde ese nacimiento en los años 40 hasta la actualidad, la telefonía móvil ha experimentado cambios fundamentales derivados de las demandas de los usuarios a la hora de comunicarnos y estar comunicados y de la necesidad de ofrecer no sólo servicios de voz sino también de datos, que hacen que existan grandes diferencias entre la telefonía móvil que hoy conocemos y la original. Los tipos de conexiones y la calidad de las mismas han ido en constante aumento proporcionando a los usuarios finales una reducción de los costes de los servicios y un significativo incremento de las funcionalidades a través de las distintas generaciones que hemos ido conociendo.

3.2.1. Primera Generación: 1G

1G (o 1-G) es la abreviatura para la telefonía móvil de la primera generación. Se empleaba tecnología de comunicación analógica para la transmisión de la voz y digital para transportar la señalización.

Estaba basada en un conjunto de celdas o células interconectadas que daban servicio a los dispositivos que se encontraban dentro de su zona de cobertura. De ahí el nombre con el que se conoce desde entonces a los sistemas telefónicos "celulares" en los cuales cada célula es atendida por una estación base y además se permite la reutilización de las frecuencias en células lo suficientemente alejadas como para no interferirse.

Los primeros teléfonos móviles aparecieron en los años 80 (modelo Dina TAC 8000X de Motorola) y aunque en comparación con los terminales actuales podían parecer aparatosos, fueron un gran avance para su época ya que podían ser trasladados y utilizados en movimiento.

Las señales se transmitían empleando modulación de frecuencia (FM) y se utilizaba la técnica de acceso al medio FDMA/FDD (*Frequency Division Duplexing*), es decir, acceso múltiple por división de frecuencia y dos frecuencias portadoras distintas para establecer la comunicación en transmisión y en recepción.

Estas redes ofrecían servicios de voz sobre conmutación de circuitos y también la transmisión de datos de muy baja capacidad (4.8Kbps) a través de módems analógicos.

En el año 1981 empezó a usarse en los países nórdicos el primer sistema, NMT 450 (*Nordic Mobile Telephone*) del fabricante Ericsson a 450MHz extendiéndose a continuación por Holanda, Europa del Este y Rusia, llegando a España en 1982. En el año 1986 se modernizó el sistema llevándolo al NMT 900, versión que al funcionar en frecuencias superiores, 900MHz, podía dar servicio a un mayor número de usuarios y avanzar en la portabilidad de los terminales.

En esa década se fueron desarrollando diferentes sistemas: el AMPS (*Advanced Mobile Phone System*) en Norteamérica, TACS (*Total Access Communication System*) en el Reino Unido, C-450 en Alemania Oriental, Portugal y Sur de África, Radiocomo2000 en Francia y RTMI (*Radio Telefono Mobile Integrato*) en Italia. El sistema TACS se utilizó en España con el nombre comercial de *MoviLine*. Estuvo en servicio hasta su extinción en 2003.

La telefonía móvil había despegado con esta 1G y alcanzó casi 20 millones de usuarios en 1990 pero presentaba varios inconvenientes:

- la calidad de la voz era relativa
- existía una falta de seguridad derivada en parte del uso de comunicaciones analógicas
- no existía un estándar único que los proveedores pudieran usar lo cual llevaba a que hubiera incompatibilidades entre los equipos en función del país o del fabricante y por ello, no era fácil interconectarlos ni usar los mismos terminales en distintas redes.

Todo esto impulsó el desarrollo del siguiente estándar para las comunicaciones móviles, el GSM.

3.2.2. Segunda Generación: 2G

2G es la abreviatura para la telefonía móvil de segunda generación. Su llegada fue en torno a 1990 y se desarrolló por la necesidad de poder tener un mayor manejo de llamadas en los mismos espectros radioeléctricos, para lo cual se introdujeron los protocolos de telefonía digital. Esta generación representa el

conjunto de estándares y sistemas de comunicación móviles digitales de banda estrecha, y significó el cambio entre la telefonía móvil analógica y la digital.

Los protocolos de telefonía digital que se introdujeron en esta generación no sólo permitían más enlaces en un mismo ancho de banda (espectro) empleando técnicas de acceso al medio por división de tiempo (TDMA), sino que ofrecían también nuevos servicios a los usuarios tales como los SMS (*Short Message Service*) para mandar mensajes de texto, la navegación por internet y el acceso a las redes fijas digitales como ISDN (*Integrated Services Digital Network*).

Estos servicios se caracterizaban además por estar dotados de mayores capacidades de envío de datos, y por disponer de mayor calidad de las transmisiones de voz y mayor confidencialidad, derivadas respectivamente del uso de modulaciones y cifrados digitales.

Uno de los objetivos principales era desarrollar estándares comunes a nivel regional, el más destacado por su presencia en el mercado es el conocido GSM.

3.2.2.1. GSM

El GSM, del inglés *Global System for Mobile communications*, y originariamente del francés *Groupe Spécial Mobile*, (Sistema Global de comunicaciones Móviles) es un sistema de telefonía netamente digital.

Se trata de un estándar abierto y evolutivo (ya que aún se encuentra en desarrollo) y se ha convertido en el sistema 2G de mayor éxito en el mundo. Permite hasta ocho comunicaciones simultáneas usando la misma frecuencia (en un principio se utilizó la banda de 900MHz pero posteriormente se empezaron a usar también las bandas 1800MHz y 1900MHz) y sus principales aplicaciones aportadas son las comunicaciones de voz (empleando conmutación de circuitos), los mensajes de texto y el envío de datos, consiguiendo velocidades de transmisión bastantes superiores a las de la generación anterior (desde 9,6 Kbps hasta 14,4 Kbps).

Banda	Nombre	Canales	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Notas
GSM 850	GSM 850	128 - 251	824,0 - 849,0	869,0 - 894,0	Usada en los EE.UU., Sudamérica y Asia.
GSM 900	P-GSM 900	0-124	890,0 - 915,0	935,0 - 960,0	La banda con que nació GSM en Europa y la más extendida
	E-GSM 900	974 - 1023	880,0 - 890,0	925,0 - 935,0	E-GSM, extensión de GSM 900
	R-GSM 900	n/a	876,0 - 880,0	921,0 - 925,0	GSM ferroviario (GSM-R).
GSM1800	GSM 1800	512 - 885	1710,0 - 1785,0	1805,0 - 1880,0	
GSM1900	GSM 1900	512 - 810	1850,0 - 1910,0	1930,0 - 1990,0	Usada en Norteamérica, incompatible con GSM-1800 por solapamiento de bandas.

Tabla 1: Bandas de Frecuencia de la Interfaz Radio GSM

Fue en este estándar cuando apareció la comúnmente llamada SIM (*Subscriber Identity Module*), tarjeta que almacena la información e identidad del cliente y que incluye la clave que nos garantiza el encriptado y la autenticidad de nuestra comunicación (dos características importantes introducidas por los sistemas digitales). El uso de esta SIM permite a un mismo usuario emplear distintos terminales de diferentes fabricantes simplemente intercambiando su tarjeta SIM, y también nos facilita el cambio de operador sin cambiar de terminal simplemente cambiando la SIM a una proporcionada por el nuevo operador.

También en el GSM se definió un único número de emergencias a nivel mundial, el 112, que da a los usuarios la posibilidad independientemente de su ubicación geográfica, de comunicar situaciones de emergencia sin necesidad de conocer un número local.

Las características y ventajas principales del GSM son:

- Se basa en **redes celulares**: cada célula o celda cubre unas zonas geográficas y está gobernada por una estación base que tiene capacidad

de cursar llamadas y dar cobertura a los usuarios que están en su zona. Si el número de usuarios en una celda crece, podemos subdividirla en otras más pequeñas únicamente instalando una nueva estación base en ella (BTS, *Base Transceiver Station*, es como se denominan las estaciones base en el estándar GSM). Cada celda empleará frecuencias distintas a las de las celdas contiguas pero podrá reutilizar las de celdas suficientemente separadas. De esta forma se optimiza el ancho de banda disponible.

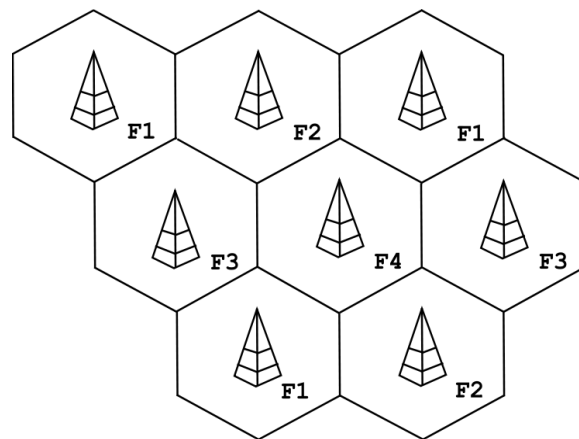


Figura 2: Reutilización de frecuencias en una red celular

La división celular no se establece de una forma homogénea si no que está condicionada al medio geográfico en el que nos encontremos y a su área de cobertura. Debido al gran aumento del uso de la telefonía móvil el tamaño de las células ha ido disminuyendo paulatinamente. Esto se debe a que para poder ofrecer los servicios a todos los usuarios situados en una determinada zona, sobre todo en zonas muy pobladas, se necesitarían muchas conexiones simultáneas y como cada estación base tiene un número limitado de conexiones simultáneas, es necesario reducir el área de cobertura y aumentar el número de estaciones base para cubrir la misma zona. Por eso, en zonas urbanas, se deben instalar microcélulas (tienen una potencia de transmisión generalmente pequeña y proporcionan cobertura a nivel de calles o núcleos urbanos) y picocélulas (son las estaciones con menor potencia de transmisión y suelen dar cobertura dentro de edificios, hospitales, centros públicos....) mientras que en

ambientes rurales se instalan macrocélulas (cuya potencia de transmisión es mucho más elevada y dan cobertura a áreas muy extensas).

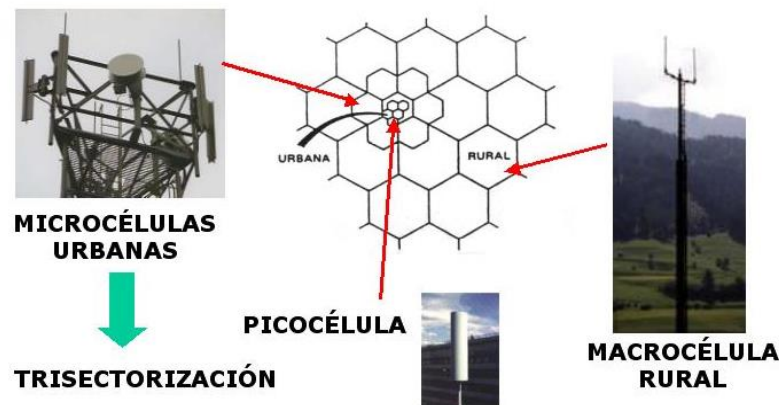


Figura 3: Tipos de células

- **Mayor duración de la batería** en los terminales: En cada celda la potencia emitida tanto por las estaciones fijas como por las móviles se va auto-regulando para que la señal pueda alcanzar el extremo remoto sin sobrepasar los límites de emisión de potencias y así evitar interferir con las llamadas que se establezcan en las células contiguas. Este autoajuste en la potencia de emisión hace que la batería del terminal móvil dure más al gastar menos energía.
- Permite el *handover*: esta característica de las redes GSM hace que todas las estaciones base, BTS, se comuniquen también entre sí para poder transferirse llamadas en curso de un usuario que por su movilidad está cambiando de una celda a otra sin que dicha llamada se vea afectada.
- Permite el *roaming*: funcionalidad que hace posible que todas las redes GSM del mundo "hablen" entre sí para poder aceptar temporalmente usuarios de otras redes. De esta forma cuando se viaja a países extranjeros podemos seguir realizando llamadas empleando, con un coste adicional, las redes de la operadora de dicho país.
- Empleo de **varias técnicas de acceso al medio**:
 - ✓ Combinación de las técnicas **TDMA/FDMA** de forma que un mismo radiocanal pueda ser utilizado por varios usuarios (8) en

intervalos de tiempo distintos, *s/ots*. Esto permite multiplexar transmisiones múltiples sobre una frecuencia de radio. Más concretamente:

- Existe una separación entre las bandas de emisión y las de recepción y además existe una subdivisión de cada una de las subbandas anteriores en canales radioeléctricos cuya frecuencia central se denomina frecuencia portadora. Cada canal radio consta de una frecuencia central para transmisión (sentido UL) y otra para recepción (sentido DL).
 - Sobre cada portadora anterior realizaremos la multiplexación en el tiempo de 8 canales de tráfico (8 usuarios emplearán la misma portadora en distinto instante temporal).
- ✓ Emplea la reutilización de frecuencias junto a la combinación anterior de técnicas de acceso al medio.

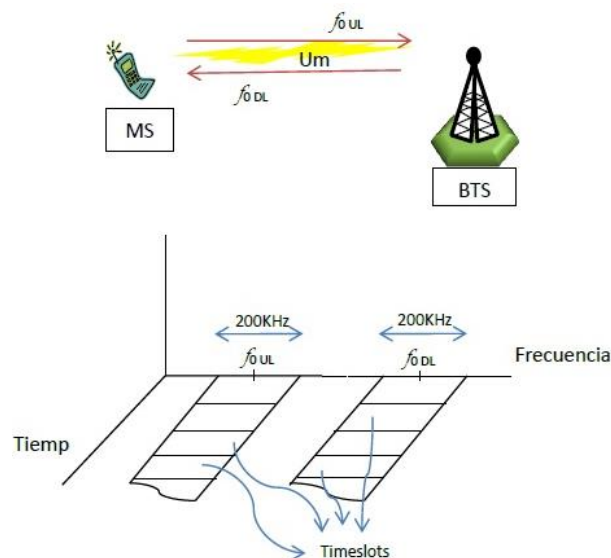


Figura 4: Combinación de las técnicas TDMA/FDMA en GSM

3.2.2.2. GPRS y EDGE

Previo a la aparición de la telefonía móvil de 3G surgen mejoras del estándar GSM que principalmente aportan una mayor velocidad en la transmisión de los datos, desde 56 a 114Kbps, introduciendo el concepto de conmutación de paquetes que aporta dinamismo e interactividad, y garantiza cierta calidad del servicio.

- **GPRS**

La tecnología protagonista de la llamada generación 2.5G fue el Servicio General de Paquetes vía Radio, GPRS (*General Packet Radio Service*), que ofrece servicios tales como el acceso al protocolo de aplicaciones inalámbricas WAP (*Wireless Application Protocol*), servicio de mensajes cortos (SMS), servicio de mensajería multimedia (MMS, *Multimedia Messaging Service*), y servicios de comunicación por Internet, como el correo electrónico y la *Word Wide Web* (WWW).

En lo referido a la tarificación del consumo, en GPRS la transferencia de datos se cobra por volumen de información transmitida (Kbps o Mbps) mientras que en el GSM tradicional la transferencia de datos a través de conmutación de circuitos se factura por minutos de tiempo de conexión independientemente de si el usuario usa toda la capacidad del canal o de si hay momentos de inactividad, lo cual no es muy eficiente. Es por esto que para servicios como la voz, que requiere un ancho de banda constante, sea más adecuada la conmutación de circuitos mientras que para servicios como el tráfico de datos, cuyo ancho de banda demandado puede variar, se emplee la conmutación de paquetes.

GPRS se usa sobre redes GSM añadiendo para ello varios nodos en la red, el SGSN (*Serving GPRS Support Node*) y el GGSN (*Gateway GPRS Support Node*). Usará entre dichos nodos redes troncales basadas en IP ya que se gestionarán direcciones IP para los terminales.

- **EDGE**

Otra tecnología considerada como evolución de las anteriores es la llamada Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM, EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*), que también es conocida como GPRS mejorado, EGPRS (*Enhanced GPRS*) y que funciona, al igual que el GPRS, sobre redes GSM.

Pero a pesar de que EDGE puede funcionar con cualquier GSM que tenga implementado GPRS y de que no serán necesarios cambios en la red principal del operador, si se tendrán que adaptar sus estaciones base, instalando transceptores compatibles, y cargando un software adicional que soporte los nuevos esquemas de modulación empleados en esta tecnología. Los terminales también tendrán que ser compatibles con esta tecnología.

Como mejora del GPRS que es, sus beneficios se aprecian principalmente en las aplicaciones que requieren una velocidad de transferencia de datos (o anchos de banda) más elevados, como videos o servicios multimedia. Se puede usar en cualquier transferencia basada en la conmutación de paquetes (Internet) y su velocidad puede llegar a alcanzar los 384Kbps.

3.2.3. Tercera Generación: 3G

3G es la abreviatura para la tercera generación de transmisión de voz y de datos a través de tecnologías móviles. Da la posibilidad de transferir tanto voz como datos en una misma comunicación (una llamada de teléfono o una videollamada) o bien de transferir datos y no voz (mails, mensajes instantáneos, descarga de datos...)

Esta generación está orientada principalmente a la telefonía móvil pero debido a las demandas actuales de conexión a Internet desde distintos dispositivos (tabletas, ordenadores, etc), las operadoras también ofrecen este servicio a través de un modem USB sin necesidad de terminal móvil. Este módem puede estar ya integrado en los dispositivos o bien ser un hardware externo adicional que en todo momento requiere de una tarjeta SIM. En la actualidad casi todos los teléfonos móviles (smartphones) pueden usarse ya como módem USB.

Las principales ventajas proporcionadas por el 3G son un nuevo incremento en la velocidad de transmisión de datos, pudiendo alcanzar hasta 2Mbps por usuario en la actualidad, uso del protocolo IP basado en paquetes, mejora de la velocidad de conexión y de acceso y transmisión de la voz con la misma calidad que en redes fijas. Ofrece servicios multimedia y nuevas aplicaciones de banda ancha, como audio, videotelefonía y videoconferencia. Facilita también la movilidad dentro de la zona de cobertura de un operador así como entre distintos operadores y países, ampliándose el *roaming* de voz y mensajes para incluir la transferencia de datos.

Todas las tecnologías 3G están enmarcadas dentro del IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications*) de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT) que establece los estándares para que todas las redes 3G sean compatibles entre sí. El estándar que definió esta tercera generación fue el UMTS.

3.2.3.1. UMTS

Se denomina así al Sistema Universal de las Telecomunicaciones Móviles (UMTS, *Universal Mobile Telecommunications System*) y se desarrolló con la finalidad de ser un sistema **multi-servicio** y **multi-velocidad** lo cual implica que ofrece la posibilidad a un usuario de establecer varias conexiones para distintos servicios a la vez así como la flexibilidad de adaptarse a transmisiones de datos de diferentes velocidades (podemos estar enviando un mail a la vez que accedemos al contenido de una página web o nos descargamos un archivo).

A pesar de que tanto el GRPS como el EDGE ya aumentaron la velocidad de transmisión de datos, el continuo incremento de usuarios de la telefonía móvil y de sus necesidad en cuanto a velocidad de conexión, así como el aumento de tráfico en la red hicieron que el UMTS trabajara en conseguir tasas aún mayores alcanzando hasta 2-3Mbps en la transmisión de datos cuando había baja movilidad o hasta 144Kbps en casos de mucha movilidad de los usuarios.

Esta flexibilidad ofrecida por el UMTS se debe principalmente a dos de sus características:

- Uso de **WCDMA** frente al TDMA o FDMA de los estándares de la 2G: Es una técnica denominada de espectro ensanchado (*Wideband Code Division Multiplexing Access*). Forma parte del conjunto de técnicas de acceso múltiple por separación de código (CDMA) en las cuales todos los usuarios transmiten simultáneamente sin que exista separación en el tiempo y además utilizan el mismo ancho de banda ya que tampoco hay separación en frecuencia. En esta técnica la forma de discriminar a los distintos usuarios es mediante la asignación de un código que los identifica unívocamente. El ancho de banda usado en UMTS era de 5MHz.

El WCDMA puede operar tanto con la división de tiempo dúplex (TDD, Time Division Duplexing) donde la transmisión en los dos sentidos de la

comunicación se transporta en la misma frecuencia pero en distintos intervalos temporales de la trama, como con la división de frecuencia dúplex (FDD, Frequency Division Duplexing) donde se usan frecuencias separadas para los enlaces de subida y de bajada.

El WCDMA proporcionaba por tanto una **mayor eficiencia espectral**, ya que en un mismo ancho de banda conseguíamos tener mayor número de usuarios y mayores tasas binarias.

- Su **integración con Internet**, mediante el **uso de protocolos comunes (IP / TCP-IP)**, le permitió mantener la velocidad de crecimiento de los servicios móviles. La utilización por parte del UMTS de Internet y su protocolo IP permite el acceso continuo a todo tipo de información, redes sociales, correo electrónico,...y hace posible ofrecer nuevas aplicaciones de banda ancha y los nuevos servicios multimedia mencionados anteriormente (video conferencias, audios, video telefonías,...)

Otras características o mejoras adicionales del UMTS con respecto a las generaciones anteriores son:

- Puede asignar distintas calidades de servicio (*QoS, Quality Of Service*) a los diferentes tipos de tráfico para poder garantizar así los servicios más críticos. De esta forma se gestiona de manera eficaz los recursos radio disponibles.
- Permite distintas formas de tarificación. Como ya se introdujo en el GPRS y debido a que el UMTS está basado en paquetes, hace posible que la operadora que nos da el servicio nos cobre ya sea por consumo, por tarifa fija, etc.
- Proporciona una mayor seguridad a las comunicaciones. En esta generación se permite autenticar la red a la que el usuario se conecta de manera que éste pueda asegurarse de que dicha red es la que desea.

Las bandas de frecuencia usadas por esta tecnología pueden ser el rango 1885-2025MHz o 2110-2200MHz. Esto hizo que los operadores de telefonía móvil que ya tenían concedidas licencias para el despliegue de su red 2G tuvieran que pedir nuevas para el 3G ya que en la mayoría de los casos no coincidían las frecuencias.

3.2.3.2. HSPA

El HSPA, *High Speed Packet Access* (Acceso de Alta Velocidad del Paquete), es la representación de una serie de protocolos de telefonía móvil que se fueron introduciendo a partir del estándar UMTS. Son por tanto combinaciones de tecnologías posteriores y complementarias a las de la 3G. Actualmente está basado en los dos siguientes protocolos:

- **HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) Acceso descendente de paquetes a alta velocidad**

Tecnología considerada 3.5G que consiste en un nuevo canal compartido en el DL que mejora la capacidad de transferencia de datos y permite alcanzar velocidades teóricas en dicho canal de hasta 14Mbps (1.8, 3.6, 7.2 y 14 Mbps).

Es compatible en el sentido inverso con el WCDMA, y la mayoría de los proveedores de 3G ofrecen esta tecnología en su red. Dado que además de mejorar las velocidades de datos, HSDPA también disminuye la latencia (y por tanto el tiempo de ida y vuelta para la transmisión de información en las aplicaciones) e incrementa la eficiencia espectral, sus principales utilidades son el acceso a internet con mayor ancho de banda y un mayor uso de aplicaciones en tiempo real, como juegos on line con múltiples jugadores o videoconferencias, ya que tienen mejores tiempo de respuesta. Nos permite navegar rápidamente, hacer descargas de correo electrónico, música y vídeo a mayor velocidad y además hace posible que la red sea usada por un mayor número de usuarios simultáneamente. Los operadores han enfocado el servicio como un acceso móvil a Internet de banda ancha para ordenadores portátiles y smartphones.

- **HSUPA (High Speed Uplink Packet Access). Acceso ascendente de paquetes a alta velocidad**

Tecnología considerada como 3.75G o 3.5G Plus que permite alcanzar una velocidad en el canal ascendente de hasta 5.76Mbps.

Se considera una evolución o complemento del HSDPA ya que usa un canal dedicado en el UL (el E-DCH, *Enhanced Dedicated Channel*) que ofrece mejoras ahora en la velocidad desde el terminal móvil a la red.

La combinación de estas dos tecnologías abrió un amplio abanico de posibilidades en lo referente a servicios IP multimedia móvil. Sólo puede haber cobertura HSPA en zonas con 3G y aun así no todas las zonas con 3G soportan HSPA completo ya que a veces sólo soportan HSDPA.

3.2.3.3. HSPA+

El HSPA+, *High Speed Packet Access Plus*, es conocido también como el HSPA avanzado o mejorado, *Evolved HSPA*, y dota a las comunicaciones de datos de velocidades teóricas de hasta 84Mbps en DL y 22Mbps en UL. Es llamada tecnología 3.8G.

Este aumento de velocidad lo consigue usando una modulación con más niveles, 64QAM, que permite transportar más información en el mismo ancho de banda y modular la señal con mayor precisión. Además usa MIMO (*Multiple-Input Multiple Output*) que es una técnica multiantena que permite transmitir varias señales en paralelo, es decir, se usan varios transmisores sobre la misma frecuencia para que el receptor pueda reconstruir la señal con mayor fiabilidad.

Gracias a HSPA+ y a la progresiva eliminación de los límites de tráfico, la banda ancha móvil puede competir con la banda ancha fija, a la que supera en algunos aspectos, como la velocidad de subida. Sin embargo, hay que tener en cuenta que es una conexión diseñada para ráfagas de datos de alta velocidad, más que para transferencias sostenidas.

En España las 4 principales operadoras usan en sus redes el 3G, HSPA o HSPA+. Eran las tecnologías empleadas hasta el despliegue del LTE de la siguiente generación que como está basado ya casi completamente en un *Backhaul Full IP* obligó a las operadoras a realizar importantes trabajos de modernización de sus redes de transmisión para que éstas pudieran soportar las grandes velocidades que se manejaban en la transferencia de información y que eran totalmente impensables en las redes desplegadas para el 2G basadas en ATM (veremos más en detalle este proceso de modernización)

A pesar de que las redes de 3G ya ofrecían altas velocidades y muchas mejoras, seguían teniendo ciertas limitaciones, tales como:

- los servicios de datos son gestionados por el dominio de paquetes (PS) mientras que los de voz siguen siendo gestionados por el de circuitos

(CS) lo cual hace que al tener que existir los dos dominios se tenga un elevado coste de operación y mantenimiento

- no eran capaces de soportar múltiples sistemas de acceso radio
- las rutas de transmisión de los datos podían hacerse más eficientes.

Por tanto una vez más el 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) continuó trabajando para evolucionar hacia tecnologías que pudieran usar un ancho de banda mayor (20MHz) y conseguir velocidades más altas.

3.2.4. Cuarta Generación: 4G

4G son las siglas usadas para referirse a la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil.

En este caso el comité que definió la UIT para regularizar todos los requisitos y características que debían cumplir los estándares que se fueran a llamar 4G fue el *IMT-Advanced*.

Es la tecnología del presente y está basada completamente en el protocolo de internet (IP). Es considerado un sistema que engloba a otros sistemas y una red de redes que se consigue gracias a la convergencia entre las redes de cables y las inalámbricas. Igual que ya ocurría en la 3G, la tecnología 4G no sólo está orientada a ser usada en dispositivos móviles si no también en los actuales teléfonos inteligentes (smartphones), en módems inalámbricos, tabletas,...

El principal requisito técnico definido en el *IMT-Advanced* y que constituye la característica diferenciadora con las anteriores generaciones es la capacidad para proveer velocidades de transmisión de datos de unos 100Mbps en movimiento y 1Gbps en reposo o movilidad baja, manteniendo en todo momento una QoS extremo a extremo y una alta seguridad en la comunicación.

En muchos países, entre ellos España, el uso del 4G ya está disponible y las operadoras ya han adaptado o están adaptando sus redes de transporte para poder dotar a las comunicaciones y servicios ofrecidos de esas velocidades. Sin embargo su implantación definitiva a nivel mundial podrá alargarse hasta 2020.

El estándar que hoy en día consideramos como estándar principal de 4G en realidad no lo es. El LTE (*Long Terminal Evolution*) siendo rigurosos no cumplía en sus comienzos los requisitos de velocidades pico de transmisión y eficiencia

espectral, sin embargo la UIT declaró en 2010 que los candidatos a 4G, como éste lo era, podían publicitarse como 4G. Posteriormente evolucionó al *LTE-Advanced*, auténtico estándar 4G.

Las altísimas velocidades ofrecidas por esta generación hacen que casi la mitad de los usuarios que ya disfrutaban de ellas recurran con menos frecuencia tanto a puntos de acceso wifi públicos como a la conexión de su casa (a menos que sea por tema del consumo de los datos contratados) y empleen esta nueva tecnología como punto de acceso de banda ancha. El mayor uso es el video y el *streaming* haciendo posible ver películas y series *on line* con mucha mejor calidad. Permite realizar descargas de archivos pesados en tiempos casi imperceptibles y ver la televisión en nuestros dispositivos móviles. Ha sido comentado que el 4G tiene una razón y ésta es el entretenimiento de los usuarios.

En España las operadoras decidieron que no repercutiría en la factura de los usuarios el hecho de pasar a ofrecerles la tecnología 3G a ofrecerles la 4G o se haría de forma casi imperceptible. De esta manera la tarificación de datos no variaría, a no ser que se contrataran más Mbps a los que se tenía previamente, por lo que el único requisito para poder disfrutar de las velocidades ultrarrápidas de esta cuarta generación es disponer de un terminal móvil compatible.

3.2.4.1. LTE

Del inglés, *Long Terminal Evolution*, es el sistema considerado 4G (aunque técnicamente por lo anteriormente comentado, según la ITU debería ser considerado 3.9G) que se está desplegando en las redes de telefonía móvil, junto con las tecnologías ya existentes 2G y 3G. En Europa se han previsto las bandas de 800, 1800 y 2600MHz.

El 11 de diciembre de 2008 el 3GPP aprobó la norma definitiva del LTE y en las mismas fechas se comenzaron a anunciar terminales comerciales capaces de soportar esta tecnología permitiendo así alcanzar velocidades de descarga de 100Mbps.

En esta generación se consiguen accesos móviles de banda ancha tanto a las redes fijas (en nuestras casas la fibra óptica, el DSL) como a las redes móviles, es

decir, podremos también disfrutar aun estando en movimiento de las aplicaciones multimedia, voz sobre IP, TV,...

El desarrollo del LTE está orientado principalmente a la convergencia de diferentes tipos de redes de acceso, a un mejor uso de los recursos radioeléctricos y a que su red sea en su totalidad IP. Derivado de ello, este estándar presenta las siguientes características y funcionalidades:

- LTE propone la técnica de **conmutación por paquetes IP tanto para las comunicaciones de voz como las de datos**. Esto hace que su red principal, el *core*, haya evolucionado hacia un núcleo mejorado, el llamado EPC, *Evolved Packet Core*, que es una red llamada "*All-IP*". Esto se refleja en unos beneficios en OPEX/CAPEX ya que la única forma de tener un core convergente, EPC, es que todos los tipos de tráfico se realizan sobre un núcleo único y unificado.
- **Muy baja latencia**: unos 100ms en el plano de control y 10ms en el de usuario. Ambos planos se separan mediante interfaces abiertas.
- Es **compatible con todas las tecnologías** ya anteriormente desplegadas en las redes de las operadoras, GSM GPRS, UMTS,.....
- Puede trabajar en muchas bandas de frecuencia diferentes.
- Emplea **anchos de banda adaptativos** pudiendo llegar a usar hasta 20MHz: 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20MHz.
- **Altas velocidades** de pico:
 - ✓ Bajada: 326,5Mbps para 4x4 antenas, 172,8 Mbps para 2x2 antenas.
 - ✓ Subida: 86,5 Mbps
- Puede soportar más de 200 usuarios por celda, en celdas de 5MHz.
- Las celdas pueden cubrir de 100 a 500Km con pequeñas (para áreas degradaciones de 30Km) aunque se recomiendan celdas de menor tamaño.
- Óptimo para desplazamientos de 15Km/h aunque es compatible hasta 500Km/h.
- El *handover* entre las tecnologías 2G, 3G y 4G son transparentes.

- Presenta una **alta eficiencia espectral** debido fundamentalmente al uso de las siguientes tecnologías:
 - ✓ Mejora y flexibilidad del uso del espectro (FDD y TDD) haciendo una gestión más eficiente del mismo, lo que incluiría servicios *unicast* y *broadcast*. Reducción en costes de análisis e implementación y alta fidelidad para redes de banda ancha móvil.
 - ✓ La tecnología en la interfaz aire es llamada EPS, *Enhanced Packet System*.
 - ✓ Tecnología multiantena, antenas inteligentes MIMO
 - ✓ Para el acceso radio se emplea **OFDM**, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*, y variantes del mismo.

Esta técnica de multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras que son ortogonales en frecuencia entre sí, lo cual hace que no necesitemos usar bandas de guarda, haciendo un uso más eficiente del espectro. Esta técnica funciona bajo condiciones que serían problemáticas para otras técnicas. Es muy robusta ante el multitrayecto.

En España, este despliegue por parte de las principales operadoras tuvo lugar casi en su totalidad entre 2013 y 2014. Ofrecen ya LTE en las capitales de provincia y lo están expandiendo a zonas de menor densidad de población incluso zonas rurales.

Algunas operadoras han llegado a firmar acuerdos por los cuales comparten sus redes e infraestructuras y se ceden el uso de sus servicios en zonas en las que otras no dan cobertura. Esto se debe a que no todas las operadoras tienen concedidas todas las licencias sobre las que poder ofrecer una tecnología.

	800 MHz	900 MHz	1.800 MHz	2.100 MHz	2.600 MHz
Movistar	4G	2G y 3G	2G y 4G	3G	4G
Vodafone	4G	2G y 3G	2G y 4G	3G	4G
Orange	4G	2G y 3G	2G y 4G	3G	4G
Yoigo			2G y 4G	3G	

Tabla 2: Frecuencias asignadas y tecnologías usadas por las principales operadoras en España

De esta forma, por ejemplo Yoigo ofrece su servicio 4G LTE en todas aquellas ciudades mayores de 70.000 habitantes, cuyas velocidades teóricas son 75 megas de bajada y 50 de subida. El despliegue de la filial de TeliaSonera en España se está produciendo sobre la banda de 1800 MHz, al no tener asignadas frecuencias mayores (2600 MHz) o menores (800 MHz). Esta red 4G se comparte con la operadora nacional Movistar, en aquellos sitios donde Movistar no tenga cobertura 4G, al igual que Movistar ofrece su 2G y 3G a Yoigo, en aquellos sitios donde no llega el 2G y 3G propio de Yoigo.

¡¡Según un estudio realizado este año por *OpenSignal*, España cuenta en su conjunto con las redes 4G más rápidas del mundo!! Aunque no dispongamos de la mejor cobertura (siendo Corea del Sur el país a la cabeza en este sentido), sí podemos presumir de las mejores velocidades LTE, algo que habla muy positivamente del trabajo desempeñado por las operadoras en las mejoras de sus redes para poder lograr estas velocidades. En este Proyecto detallaremos este proceso en alguna de las operadoras de nuestro país. En concreto Vodafone España es el operador que mayor velocidad ofrece a nivel mundial.

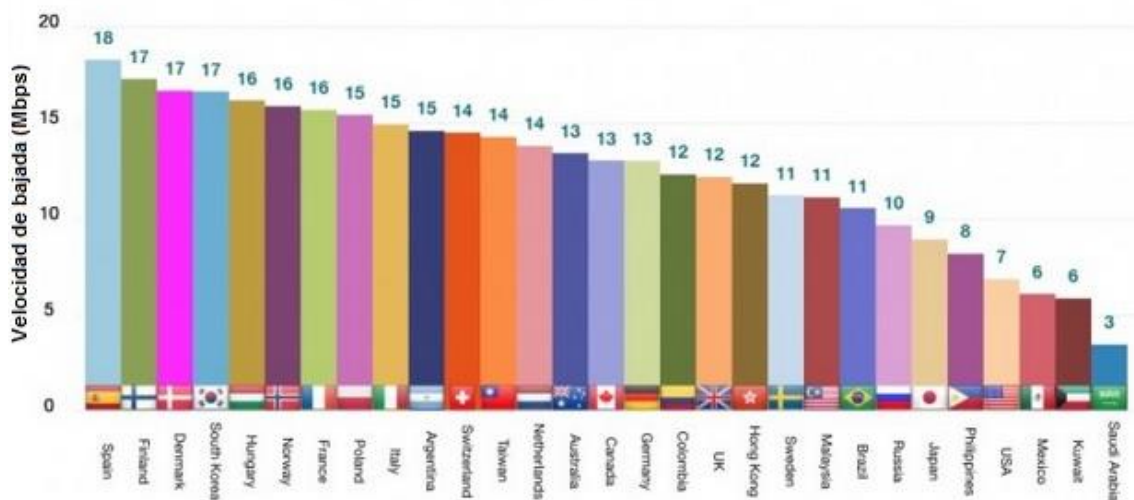


Figura 5: Velocidades LTE según estudio Marzo 2015 OpenSignal

3.2.4.2. WIMAX

Este sistema se desarrolló con cierta ventaja sobre el LTE ya que allá en el 2007 se publicó una norma de la UIT que permitía a las operadoras que tuvieran licencia 3G desplegar el Wimax sobre el UMTS.

Pero rápidamente quedó eclipsado por las mejoras en cuanto a alcances y velocidades que ofrecía el LTE frente al Wimax (hasta 100Km en áreas rurales y hasta 100Mbps) por lo que fue el LTE el estándar elegido por las operadoras para sus redes de telefonía móvil.

3.2.5. Quinta Generación: 5G

5G son las siglas usadas para referirse a la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil. Será la generación del futuro y actualmente las empresas suministradoras de equipos de telecomunicaciones, como la sueca Ericsson o la china Huawei, están desarrollando sus prototipos y equipos para alcanzar los 5Gbps reales de bajada que se estima se proporcionarán en esta generación, a falta aún de estándar que lo defina. Está previsto que su uso común sea en 2020, aunque suministradores y operadoras se marcan también como objetivos llegar a la próxima Copa Mundial de Fútbol de Rusia del 2018.

La idea de estas conexiones tiene que ver no sólo con dispositivos móviles, sino también con la llamada "internet de las cosas", concepto que los suministradores han apoyado con diversos proyectos relacionados con empresas, industria, automóviles y sobre todo en el área de la salud. Se estima que para el 2020 tendremos casi cuatro veces más terminales móviles activos que en la actualidad y las conexiones a las redes móviles aumentarán diez veces más. Los primeros beneficiarios de la tecnología del futuro serán Japón, Corea del Sur y Estados Unidos.

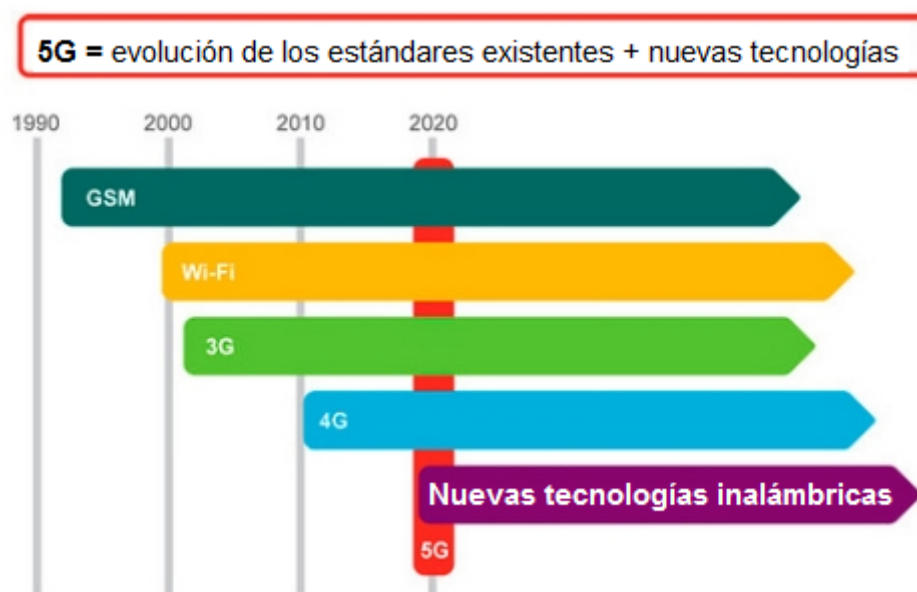


Figura 6: Evolución de los estándares existentes y nuevas tecnologías

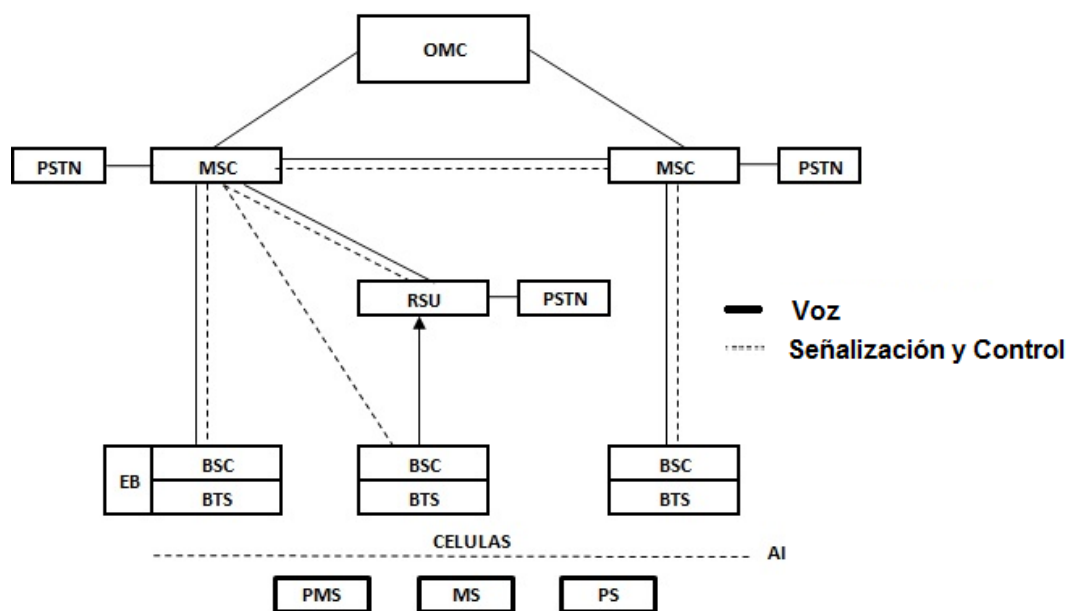
4. ARQUITECTURA DE LAS REDES DE TELEFONÍA MÓVIL

Para poder hablar del proceso de modernización de las redes de transporte, objetivo de este PFC, vamos a presentar previamente las arquitecturas de red existentes en los distintos estándares de telefonía móvil.

En términos generales podemos definir la arquitectura de una red como el diseño de la red de comunicaciones. Se especifican los componentes físicos y su organización funcional, la configuración de dichos componentes, el formato de los datos, etc. La arquitectura de red describe las relaciones entre los elementos que la componen, mientras que el diseño de dicha red, por norma general, especifica las tecnologías, los protocolos y los dispositivos usados.

4.1. Arquitectura de la Red de la Primera Generación

A continuación se muestran dos figuras con los elementos que componían esta primera generación:



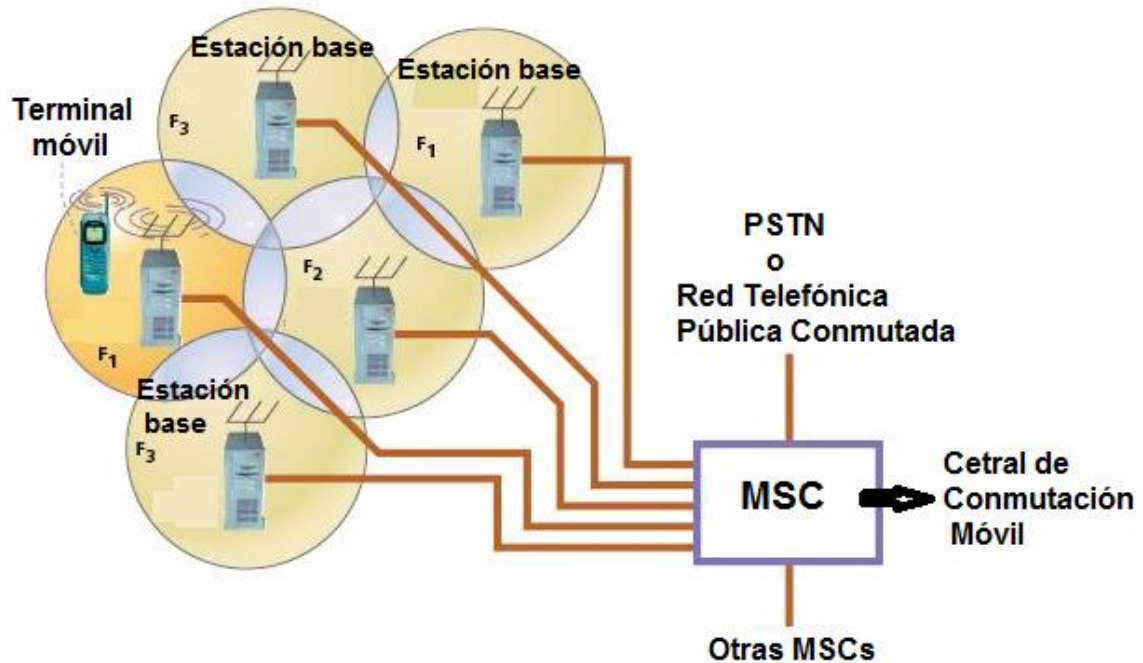


Figura 7: Elementos de la arquitectura de red de 1G

Los elementos principales, de menor a mayor jerarquía son:

- **Equipos o Estaciones de Usuario:** Son los distintos equipos con los que los usuarios podían acceder a la red: PMS (*Portable Mobile Station*), MS (*Mobile Station*) o PS (*Portable Station*).
- **BS (*Base Station*):** Son las estaciones base (EB) que darán cobertura a los usuarios de su área. Como se muestra en la Figura 7, en esta generación las BS estaban constituidas tanto por los equipos radio (*BTS, Base Transceiver Station*) como por las controladoras que las gestionan (*BSC, Base Station Controller*).
- **Celdas:** También llamadas células. Es el área geográfica atendida por una estación base para dar cobertura a los dispositivos que se encontraban dentro.
- **RSU (*Remote Switching Units*):** Realiza las funciones de enrutamiento necesarias para llegar a la MSC.
- **MSC (*Mobile Switching Central*):** Es la central de conmutación móvil y permite interconectar a los usuarios de la red móvil entre sí o bien

conectarlos con la red fija, la red telefónica pública conmutada (PSTN, *Public Switched Telephone Network*). Realiza el control de las llamadas (su establecimiento, encaminamiento y finalización).

- **OMC (*Operations and Maintenance Center*):** Central que se encarga de las funciones de operación y mantenimiento.

4.2. Arquitectura de la Red de la Segunda Generación

A continuación se muestran dos figuras con los elementos que componen esta generación: sólo con tecnología GSM o con tecnologías GSM y GPRS.

4.2.1. Arquitectura de la Red GSM

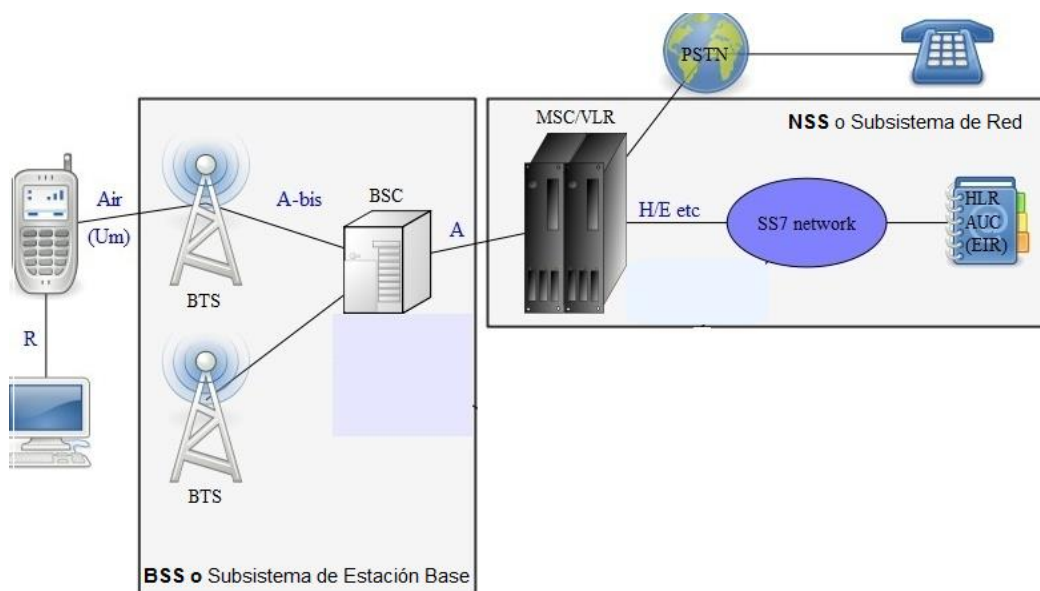


Figura 8: Elementos de la arquitectura de red de 2G

Algunos de los elementos que nos encontramos en esta red ya existían en la primera generación mientras que otros fueron introducidos por el GSM.

- **MS (*Mobile Station*):** Es el móvil del usuario y consta del ME (*Mobile Equipment*), que es el propio terminal, y de la SIM (*Subscriber Identity Module*), la tarjeta que ya describimos en el capítulo anterior y que permitía la identificación del usuario.

- **BSS (*Base Station Subsystem*):** Este subsistema se compone por los elementos ya definidos en la primera generación BTSs y BSCs. Forma lo que llamamos la **Red de Acceso** que ya analizaremos en profundidad más adelante y cuya modernización y optimización detallaremos como objetivos de este proyecto. Las BTSs son las encargadas de conectarse con los MS a través de la interfaz Um gestionando la interfaz radio, mientras que las BSCs se encargarán de controlar las BTSs a través de la interfaz Abis. El subsistema BSS constará por tanto de una BSC y las BTSs que gestiona. Se describe brevemente ambas interfaces ya que en concreto la interfaz Abis estará implicada en la modernización de la Red de Acceso.
 - ✓ **Interfaz Um** → Como se muestra en la Figura 8 conecta a través del aire el terminal del usuario con la estación base que le da cobertura, usando para ello señales radioeléctricas.
 - ✓ **Interfaz Abis** → Como se muestra en la Figura 8 conecta las estaciones base con las controladoras. En este caso la conexión no puede ser algo directo entre ambos equipos ya que una misma BSC controla numerosas estaciones base situadas en ubicaciones muy dispares y distantes por lo que es necesaria la existencia de **redes de transporte** para ello. Estas redes precisan de medios de transmisión fiables y rápidos para que estas conexiones sean eficaces y permitan transportar todo el volumen de datos que han ido demandando los avances tecnológicos; de ahí que en este PFC se desarrolle el proceso de modernización de las mismas.

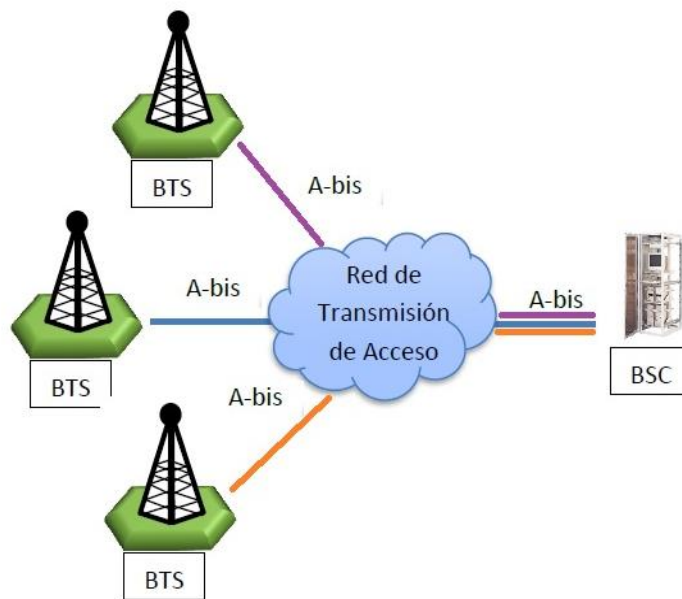


Figura 9: Red de transmisión de acceso en GSM

- **NSS (*Network Switching Subsystem*):** Este subsistema se compone por los elementos ya mencionados también en la primera generación, la central de conmutación MSC y los registros de ubicación base y visitante, HLR y VLR. Forma lo que llamamos la **Red Principal** o **Red de Núcleo** y se encarga principalmente de:
 - ✓ interconectar con redes de otros operadores.
 - ✓ enrutar las llamadas, es decir, mandar la llamada hacia la BSC que controla la BTS que se conecta al MS al que va dirigida la llamada en curso.
 - ✓ gestionar los permisos que tiene cada usuario para usar unos servicios u otros en función de la información de abonado que haya de él (su SIM) en los registros.

Para ello cada MSC se conecta a las BSCs de su área de influencia a través de la interfaz A, también se conecta a su VLR y puede acceder a los HLRs de otros operadores. Existen también otros elementos en este subsistema encargados del cifrado de las señales y de la identificación de los usuarios en el propio sistema, son el EIR (*Equipment Identification Register*) y el AUC (*Authentication User Center*)

- ✓ **Interfaz A** → Como se muestra en la Figura 8 conecta las controladoras, BSCs, con las centrales de conmutación, MSCs. Esta interfaz une por tanto las dos redes que hemos mencionado que forman cada subsistema, es decir une la Red de Acceso con la Red Principal o de Núcleo

4.2.2. Arquitectura de la Red GSM con GPRS/EDGE

Se muestra una red 2G en la que también se dispone de la tecnología GPRS/EDGE:

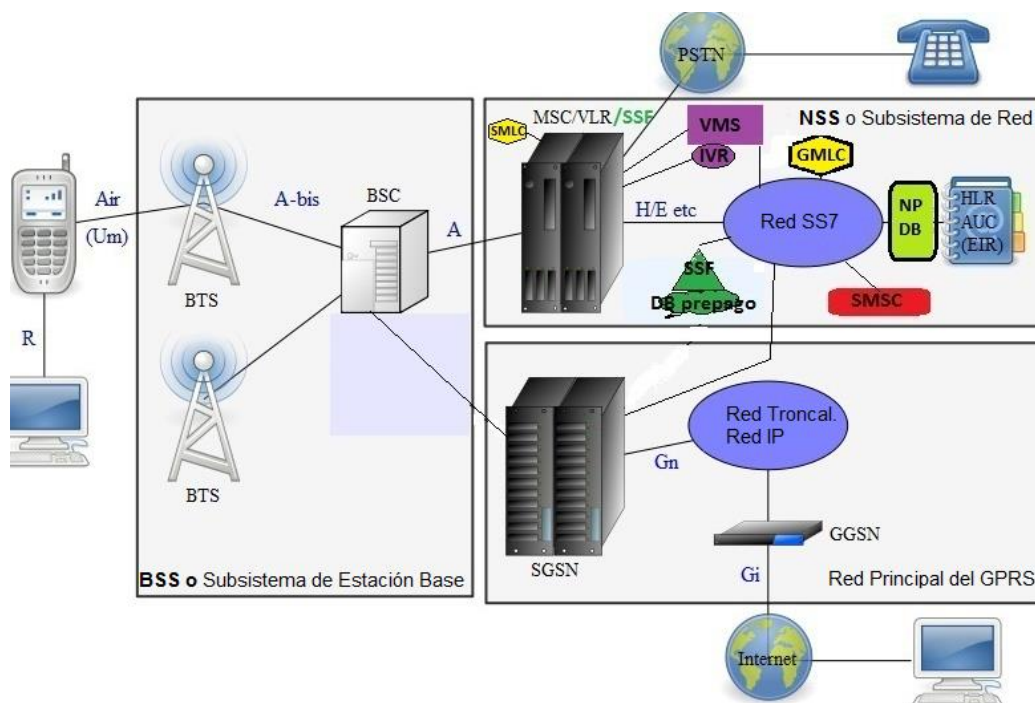


Figura 10: Elementos de la arquitectura de red de 2.5G

En la 2.5G únicamente se introducen como se aprecia en la Figura 10 y como ya comentamos anteriormente dos nuevos nodos en la red adicionales a los definidos para el GSM además de contar con una nueva parte de la red troncal (o principal) basada en IP. Los usuarios que vayan a usar esta red no necesitan unas bases de datos independientes y exclusivas para ellos si no que usan las de las redes GSM, el HLR y AUC.

- **GGSN (*Gateway GPRS Support Node*):** Nodo que conecta la red GPRS con las redes IP externas como Internet
- **SGSN (*Serving GPRS Support Node*):** Nodo que interactúa con la interfaz radio. De manera similar al VLR, este nodo también guarda información del abonado, su localización...

4.3. Arquitectura de la Red de la Tercera Generación

A continuación se muestra una figura con los bloques de la arquitectura de esta red:

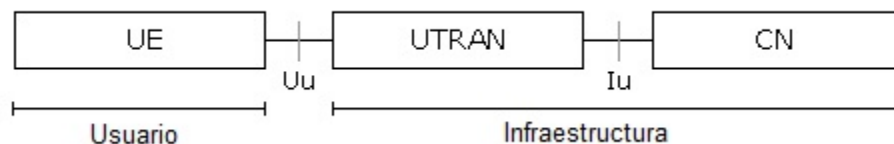


Figura 11: Elementos de la arquitectura de red UTM

Vemos que de forma análoga a la generación anterior, esta red consta del dispositivo del usuario, de la red de acceso o de telecomunicaciones (en este caso llamada UTRAN, *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) y de la red de núcleo o principal (CN, *Core Network*). Desglosamos ahora cada uno de estos bloques centrándonos en última instancia en la red UTRAN, que es la que se verá implicada en este proyecto.

- **UE (*User Equipment*):** Se compone del terminal móvil, ME (*Mobile Equipment*), que ya comentamos en capítulos anteriores que en esta generación podían ser no sólo teléfonos si no también módems USB, tabletas, smartphones....y de la tarjeta de identificación del usuario llamada ahora USIM (*Universal Subscriber Identity Module*).

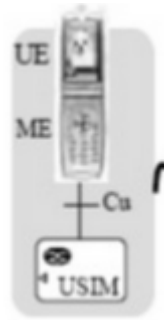


Figura 12: Equipo de usuario en UMTS

- **CN (Core Network):** Realiza las mismas funciones que la red de núcleo del GSM, en cuanto a interconexión de redes, registro y control de los servicios disponible para cada usuario, enrutamiento de llamadas, almacenamiento en las bases de datos, etc, y además se encarga de la gestión y seguridad en el manejo de los datos y la detección y resolución de averías. El núcleo consta de conmutadores que distribuirán la información por los sistemas que aplique en función de hacia dónde se dirija esa información y el tipo que sea, voz o datos.

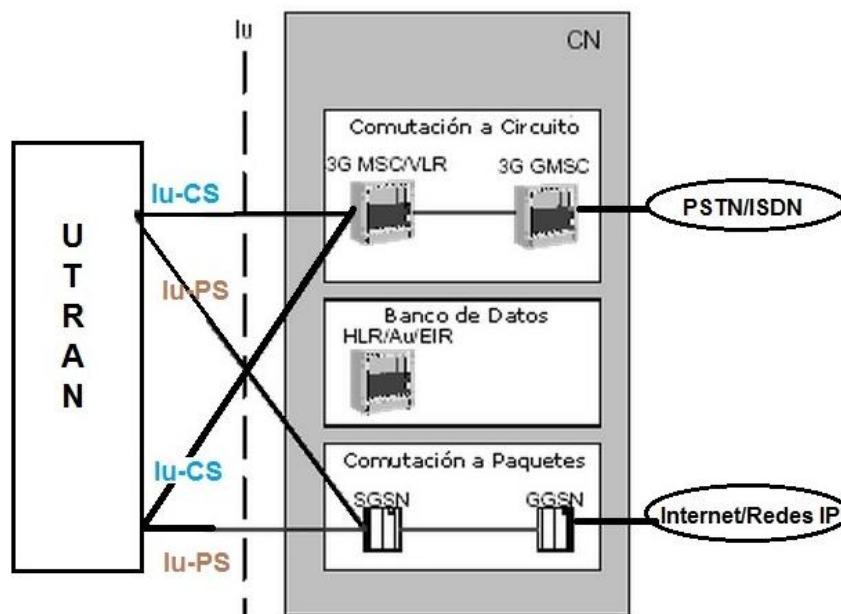


Figura 13: Red principal en UMTS

Este bloque de la red añade además funciones de inteligencia y transporte que hacen posible que el UMTS se conecte con otras redes de telecomunicaciones permitiendo así que los usuarios de UMTS puedan comunicarse también con los de las redes GSM, GPRS.... Como muestra la Figura 13 en este subsistema se distinguen dos dominios:

- ✓ Dominio CS (*Circuit Switched* o Conmutación de Circuitos), que se encarga de llevar las llamadas de voz a la red pública PSTN por medio del MSC y GMSC.
- ✓ Dominio PS (*Packet Switched* o Conmutación de Paquetes), que interconecta a los usuarios con las redes de datos, Internet, PDNs (*Packet Data Networks*) a través del SGSN y GGSN.

Al núcleo de red llegaremos desde la RNC que es el último elemento que forma parte del subsistema objetivo de proyecto, la red UTRAN.

- **UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*):** Es la red de acceso radio en UMTS y se encarga de conectar los terminales móviles con el núcleo de red para hacer posible la transmisión de la información entre los dos extremos implicados en la comunicación.

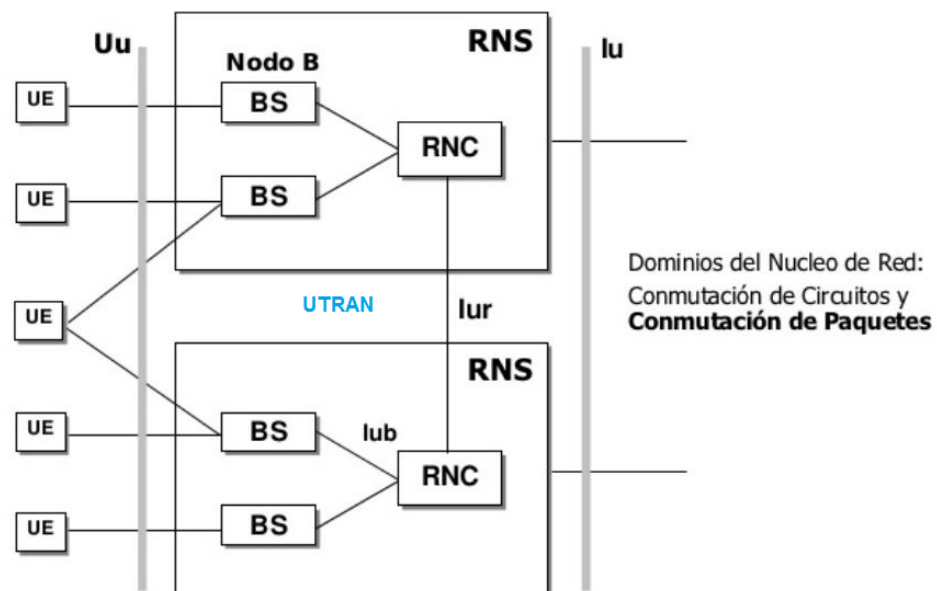


Figura 14: Red UTRAN en UMTS

Como se puede apreciar en la Figura 14, UTRAN está formada por las estaciones base que dan cobertura a los usuarios, que en esta tecnología pasan a denominarse **Nodos B** y de las estaciones controladoras de dichos nodos B, que se llaman ahora **RNCs** (*Radio Network Controller*). Los nodos B equivalen a las BTSs de GSM mientras que las RNCs equivalen a las BSCs.

En este caso los Nodos B reciben la información del usuario por la interfaz Uu y la mapearán en la Interfaz Iub para llevarla a las RNCs. Desde aquí se transportarán hacia la red de núcleo por las interfaces Iu.

Se forman agrupaciones de una RNC y las estaciones base a las que controla. De esta forma la RNC se responsabiliza de controlar los recursos de esos Nodos B. Estas agrupaciones se llaman Subsistemas de Red de Radio, **RNS** (*Radio Network Subsystem*). Las RNCs de distintos subsistemas se interconectan también entre sí por medio de la interfaz Iur.

Las interfaces que conectan los distintos bloques de la red UMTS o elementos de un mismo bloque entre sí son:

- ✓ **Interfaz Uu** → Conecta a través del aire el terminal del usuario con la estación base que le da cobertura, el nodo B. Como ya comentamos en capítulos anteriores se basa en la tecnología WCDMA y usa para el transporte señales radioeléctricas.
- ✓ **Interfaz Iub** → Conecta los nodos B con sus controladoras, RNCs. De forma análoga a lo que ocurría en GSM con la interfaz Abis, no se puede establecer una conexión punto a punto y dedicada para cada Nodo B ya que una misma RNC controla numerosos Nodos B situados en ubicaciones muy dispares y distantes por lo que es necesaria la existencia de **redes de transporte** para ello. Estas redes precisan de medios de transmisión fiables y rápidos para que estas conexiones sean eficaces y permitan transportar todo el volumen de datos que han ido demandando los avances tecnológicos; de ahí que esto se desarrolle más adelante en este PFC. En concreto la red UTRAN ya estaba enfocada a obtener velocidades de transmisión bastante más altas que las demandadas en las redes GSM y a ofrecer más servicios por lo que

requería unas conexiones, protocolos y tecnologías más evolucionadas.

El proceso de modernización, ampliación y mejoras en la red de transmisión existente para adaptarla a los nuevos requerimientos es el detalle de este proyecto.

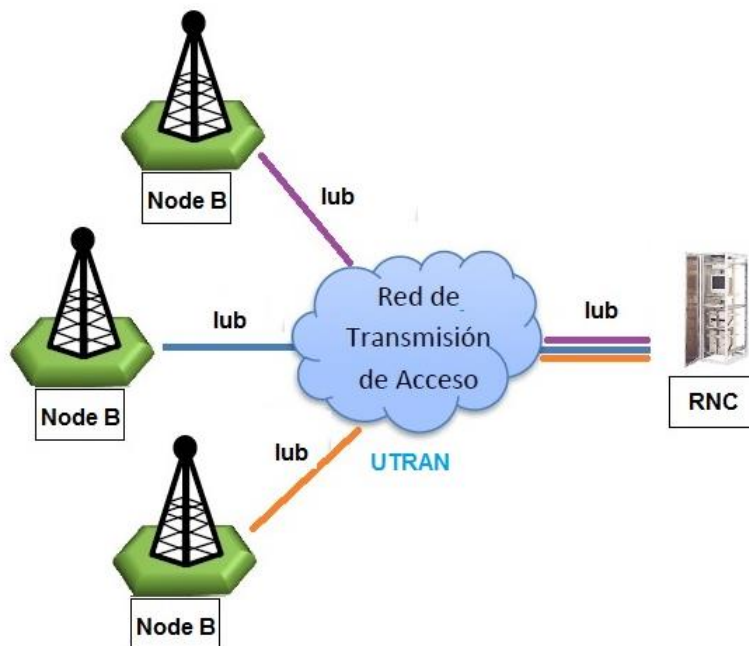


Figura 15: Red de transmisión de acceso UMTS

- ✓ **Interfaz Iu** → Conecta la controladora con la red principal o de núcleo. Como vimos en la Figura 14 existían dos dominios distintos en el *Core*, uno de paquetes y otro de circuitos por lo que habrá un Iu-CS que conecta la RNC con el *Core* de circuitos y un Iu-PS que la conecta con el de paquetes.
- ✓ **Interfaz Iur** → Conecta la controladora con la red principal o de núcleo. Como vimos en la Figura 14 existían dos dominios distintos en el *Core*, uno de paquetes y otro de circuitos por lo que habrá un Iu-CS que conecta la RNC con el *Core* de circuitos y un Iu-PS que la conecta con el de paquetes.

4.4. Arquitectura de la Red de la Cuarta Generación

A continuación se muestra una figura con los bloques de la arquitectura de esta red:

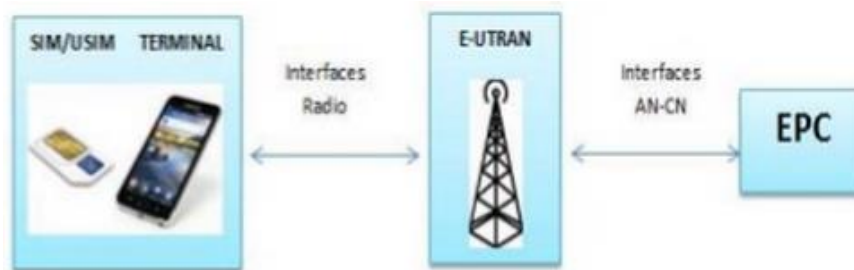


Figura 16: Arquitectura de red LTE

De nuevo esta arquitectura consta de un equipo de usuario (UE) y de una infraestructura de red que se divide en red de acceso (en este caso llamada E-UTRAN) y de la red de núcleo o principal que será una red convergente de paquetes (EPC, *Evolved Packet Core*).

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS (*IP Multimedia Subsystem*) y/o otras redes de telecomunicaciones como Internet.

Las **principales características** de esta arquitectura son:

- que desaparecen los equipos controladores (BSC de GSM y RNC de UMTS) minimizando así el retardo en el transporte de la información
- y que la red de núcleo es una red evolucionada a "*all IP*" de forma que hay un único núcleo al cual se dirige todo el tráfico independientemente de si es de voz o de datos.

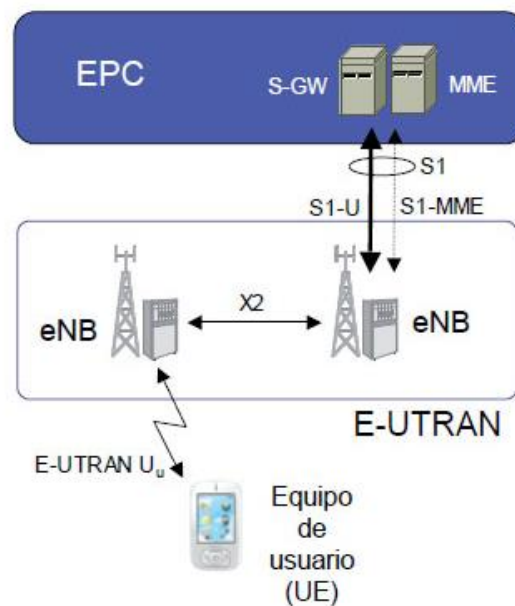


Figura 17: Elementos de la arquitectura de red LTE

Aunque nos centraremos de nuevo en la red de acceso y sus cambios y mejoras, comentamos brevemente el resto de elementos:

- **UE (*User Equipment*):** Igual que los del UMTS se compone del terminal móvil, ME, y de la tarjeta de identificación del usuario llamada ahora USIM (*Universal Subscriber Identity Module*). El terminal debe ser compatible con el LTE.
- **EPC (*Evolved Packet Core*):** Es el principal elemento del denominado Core SAE (*System Architecture Evolution*). Realiza las mismas funciones que el núcleo de las generaciones anteriores presentando ciertos beneficios tales como mejoras en la latencia y *throughput*, ser una red "all IP", minimización de las acciones de O&M (*Operations and Maintenance*) y simplicidad en el *handover* a otras redes de acceso. Este núcleo consta de varios elementos que se mencionan brevemente a continuación por quedarse fuera del alcance de este proyecto:
 - ✓ **MME (*Mobility Management Entity*)** → Se encarga de la autenticación, autorización, señalización y gestiona la movilidad de los usuarios.
 - ✓ **HSS (*Home Subscriber Server*)** → Es el registro de datos del usuario de esta generación. Tiene toda la información del perfil y

servicios de cada usuario. Es la unión del HLR y AUC vistos en otras generaciones

- ✓ **S-GW (*Serving Gateways*)** → Se encarga de gestionar la conmutación y canalización del plano de usuario.
- **E-UTRAN (*Evolved UTRAN*)**: Como ya hemos comentado la característica principal de esta red es que en ella desaparecen los equipos controladores (ya no tenemos la RNC de la UTRAN del UMTS) lo cual hace que se reduzcan los costes de equipos y haya menos conexiones. Debido a esto, las estaciones base, llamadas ahora **eNodesB** (*evolvedNodeB*), adquieren más inteligencia ya que ellas mismas deben gestionar los recursos radio de la red, la movilidad y la calidad de los servicios ofrecidos. Los eNodesB integran por tanto toda la funcionalidad de la red de acceso ya que la mayoría de los protocolos implementados para las RNCs/BSCs se trasladan a los eNodesB que conectarán por tanto los equipos de usuario con la red troncal.
- Como se muestra en la Figura 17 las interfaces de interés en esta red son:
 - ✓ **Uu** → Es la interfaz radio en LTE y conecta por el aire el eNodeB con el terminal del usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar esta interfaz se implementan en el eNodeB.
 - ✓ **S1** → Proporciona el acceso a los recursos radio de la EUTRAN para el transporte del tráfico del plano de usuario (S1-U) y del plano de control (S1-MME). Conecta por tanto la red de acceso con la de núcleo.
 - ✓ **X2** → Conecta entre sí los distintos eNodeB para poderse intercambiar tanto mensajes de señalización, para poder gestionar más eficientemente los recursos radio, como tráfico de los usuarios que se están desplazando de un eNodeB a otro durante un proceso de *handover*.

5. SITUACIÓN DE PARTIDA

Para poder plantear el proceso de modernización y evolución de la red de acceso es imprescindible conocer cómo era la situación de la misma antes de dicha modernización: las topologías, los protocolos y tecnologías usados, las partes de la red, los equipos que forman parte de ella....de esta forma apreciaremos cómo han tenido que ampliarse recursos y actualizarse tecnologías y equipos para soportar todos los servicios y velocidades que se iban demandando generación tras generación de la telefonía móvil.

Por definición vimos en los apartados anteriores que la red de transmisión de datos tiene como función proporcionar y controlar el acceso de los terminales al espectro radioeléctrico disponible así como realizar el envío y recepción de los datos desde el terminal móvil hasta la controladora a través de la estación base. Estos datos son tanto el tráfico cursado por la llamada en sí como información de señalización, gestión y supervisión. Conecta por tanto las estaciones base con las estaciones controladoras.

5.1. PDH y SDH en redes TDM/ATM

Las primeras redes desplegadas por las operadoras móviles usaban para transportar la información de las estaciones base tecnologías de conmutación de circuitos y técnicas de multiplexación por división en el tiempo, TDM (*Time Division Multiplexing*). Las señales que se transportaban en estas redes eran principalmente señales digitalizadas de voz y datos a muy baja velocidad por lo que el ancho de banda que se necesitaba era pequeño. Este ancho de banda, debido a la multiplexación temporal se podía asignar a diferentes canales en intervalos de tiempo distintos de forma que por el mismo medio de transmisión se podían enviar varios canales de información. Se necesitarán equipos multiplexores y demultiplexores al inicio y al final del medio de transmisión.

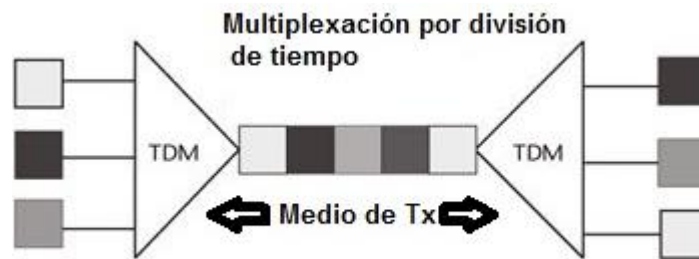


Figura 18: Esquema básico de TDM

El acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) es una de las técnicas de TDM más difundidas y ya vimos en capítulos anteriores que junto con otras variantes de acceso al medio, era una de las técnicas usadas en GSM (Ver Figura 4).

Las tecnologías protagonistas de estas redes eran tanto el PDH como el SDH y para poder combinar ambas en un mismo escenario se usaba el modo de transferencia asíncrona, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). A continuación vamos a describir estas tecnologías para conocer el funcionamiento de las redes de transporte desplegadas inicialmente.

5.1.1. PDH

La jerarquía digital plesiócrona, PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) es una tecnología que permite transportar varios canales de telefonía sobre un mismo medio de transmisión, ya sea cable de pares, coaxiales o el medio radioeléctrico. En algunos casos también puede enviarse sobre fibra óptica, aunque no está diseñado para ello y con ese medio suele usarse el SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) que veremos más adelante.

El hecho de que se denomine plesiócrono, casi síncrono, significa que los diversos equipos PDH utilizan referencias de tiempo diferentes generando cada uno una tasa de bit ligeramente distinta por lo que no existe una sincronía exacta. Pero entre ellos se establece un proceso de inicio de comunicación que hace que el sistema sea casi síncrono ya que antes de multiplexar las señales se añade un bit de justificación para informar del comienzo de dicha comunicación.

En Europa (el PDH no llegó nunca a estandarizarse a nivel mundial) se usa como unidad básica un canal telefónico digitalizado de 8 bits y velocidad 64Kbps. Combinando 32 de estos canales, 30 de los cuales llevarán información, otro llevará la sincronización y otro la señalización, se forma una señal de 2.048Mbps que constituye la trama básica PDH conocida como tributario E1 y cuya duración es de 125µs. Debido a los incrementos en las demandas telefónicas, los niveles de tráfico en la red fueron creciendo y la señal de 2Mbps empezó a ser insuficiente para satisfacer esas cargas de tráfico por lo que para evitar el uso excesivo de enlaces de 2Mbps, se incorporaron nuevos niveles de multiplexación, combinando de 4 en 4 los anteriores y dando lugar a otros estándares de mayores velocidades: E2 (8Mbps), E3 (34Mbps), E4 (139Mbps) y E5 (564Mbps).

Jerarquía	Velocidad	Canales	Trama
E1	2048 Kbit/s	30	256 bits = 125 us
E2	8448 Kbit/s	120	848 bits = 100.38 us
E3	34368 Kbit/s	480	1536 bits = 44,7 us
E4	139264 Kbit/s	1920	2904 bits = 20.85 us
E5	564992 Kbit/s	7680	2688 bits = 4.7 us

Tabla 3: Jerarquías PDH en Europa

Esta tecnología aunque en un principio parecía óptima para las redes de transporte de las primeras generaciones de telefonía móvil también presentaba ciertos inconvenientes y carencias. Las redes PDH eran costosas de mantener y tenían una estructura muy rígida, lo cual hacía que no se viera en ellas la flexibilidad que se necesitaba para ofrecer las capacidades y anchos de banda que se demandarían en las futuras generaciones con los nuevos servicios y aplicaciones. Por otro lado las tramas PDH no contienen información de O&M por lo que no es posible realizar tareas de monitorización, detección y corrección de errores, y además para acceder a un E1 y extraerlo de una señal multiplexada en PDH es necesario demultiplexar completamente la señal, cada uno de sus tramas y sus canales y volver a multiplexarlos después. Además no hay un estándar único y existen diferentes jerarquías plesiócronicas.

Esta tecnología era útil cuando prácticamente la información que se transportaba en las redes era tráfico de voz o bajas tasas binarias de datos, pero por los motivos anteriormente mencionados, no era una buena candidata cuando la mayor parte del tráfico a transportar eran datos y de elevados anchos de banda.

5.1.2. SDH

La jerarquía digital síncrona, SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) es un estándar internacional para redes ópticas de telecomunicaciones de alta capacidad. Emplea un sistema de transporte digital síncrono que está diseñado para proporcionar una infraestructura más sencilla, económica y flexible para las redes existentes haciendo que sea una tecnología perfectamente compatible con las demandas de aumento de tráfico que fueron llegando con la telefonía móvil aportando además funcionalidades de gestión. Se emplea a diferencia del PDH, técnicas de multiplexado síncrono.

La trama básica es en esta tecnología el STM-1 (*Synchronous Transport Module*) cuya velocidad es de 155Mbps y los siguientes niveles jerárquicos se forman multiplexando byte a byte varias tramas STM-1, dando lugar al STM-4, STM-16, STM-64....

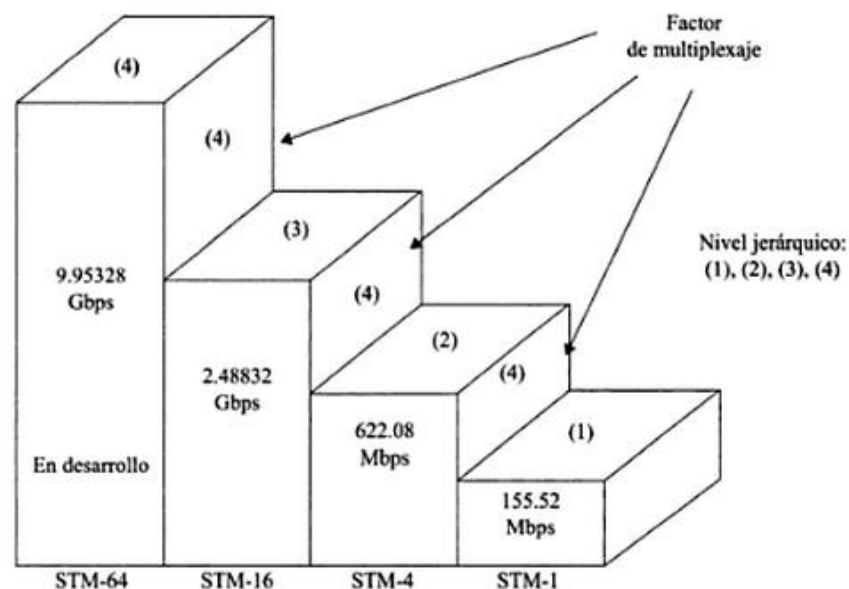


Figura 19: Jerarquías SDH

Los tributarios, ya sean síncronos o plesiócronicos se transportan en un contenedor C (*Container*) que será distinto en función de su velocidad. A cada contenedor se le añade una cabecera POH (*Path OverHead*) con información adicional de operación y mantenimiento formando el denominado contenedor virtual, VC (*Virtual Container*) y por último se agrega un puntero PTR dando lugar a una unidad tributaria TU (*Tributary Unit*). Éstas son multiplexadas byte a byte y con el agregado de información adicional de administración de la red, se forma el STM-1. El puntero apunta al primer byte y facilitará la inserción/extracción de tributarios ya que permitirá acceder directamente a un canal de cualquier trama sin tener que demultiplexar la señal entera como ocurría en PDH. Los tributarios se transportan en los VCs extremo a extremo a través de la red SDH. Cualquier señal tributaria, independientemente de su jerarquía y orden de deben poder acomodar a la estructura síncrona del STM-1.

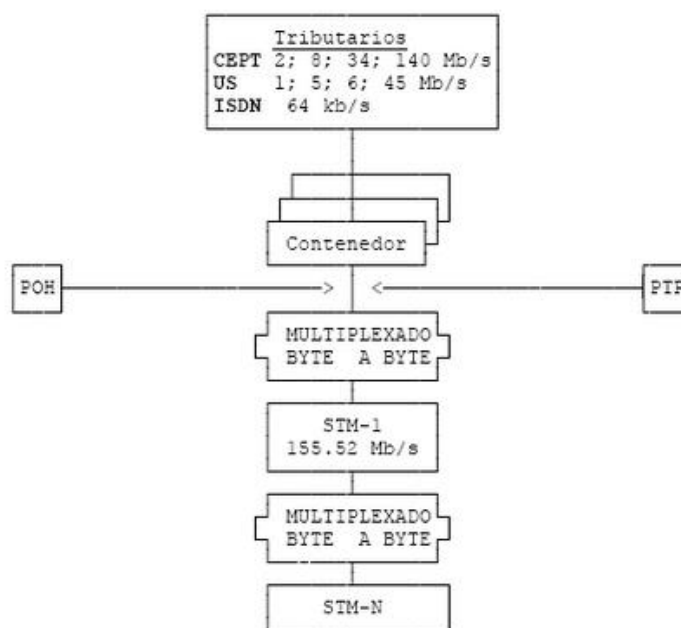


Figura 20: Proceso de formación de la señal síncrona STM-N

Uno de los objetivos del SDH era que debía adaptarse al sistema PDH ya que ambos debían convivir. Para ello se normalizó el proceso de transportar las tramas PDH sobre las de SDH. Para el mapeo de los tributarios E1s del PDH se emplean los VC-12, por tanto en un STM-1 podemos mapear hasta 63 canales de 2Mbps en 63 VC-12.

Esta tecnología ofrece varias ventajas competitivas a tener en cuenta para el despliegue de las redes. Las principales son que incluye información de O&M facilitando la gestión de los equipos, actuación frente a fallos y detección de los mismos, y que pueden emplearse en topologías en anillo permitiendo tener una protección del medio de transmisión ante posibles cortes haciendo que esta parte de la red sea más robusta `por disponer de dos caminos que además son de fibra óptica.

5.1.3. ATM

El modo de transferencia asíncrono, ATM (Asynchronous Transfer Mode) es una tecnología de telecomunicación que se desarrolló ante la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones. La información no es transmitida y conmutada a través de canales asignados en permanencia sino en forma de cortos paquetes de longitud constante que pueden ser enrutados individualmente mediante el uso de los canales virtuales y trayectos virtuales.

Está basado en la multiplexación y conmutación de celdas o pequeños paquetes de longitud fija, combinando los beneficios de la conmutación de circuitos (capacidad garantizada y retardo de transmisión constante), con los de la conmutación de paquetes (flexibilidad y eficiencia para tráfico intermitente).

Este método de transferir la información aprovecha al máximo la capacidad de cualquier sistema de transmisión, ya sea por cable o por el medio radioeléctrico y permite enviar los tributarios y tramas de distintos tamaños de las tecnologías PDH y SDH anteriormente vistas de manera óptima, como se muestra en la siguiente figura donde vemos que diferentes flujos de información, con velocidades y formatos distintos, se agrupan en un módulo ATM para ser transportados mediante enlaces de transmisión a 155Mbps facilitado por el SDH.

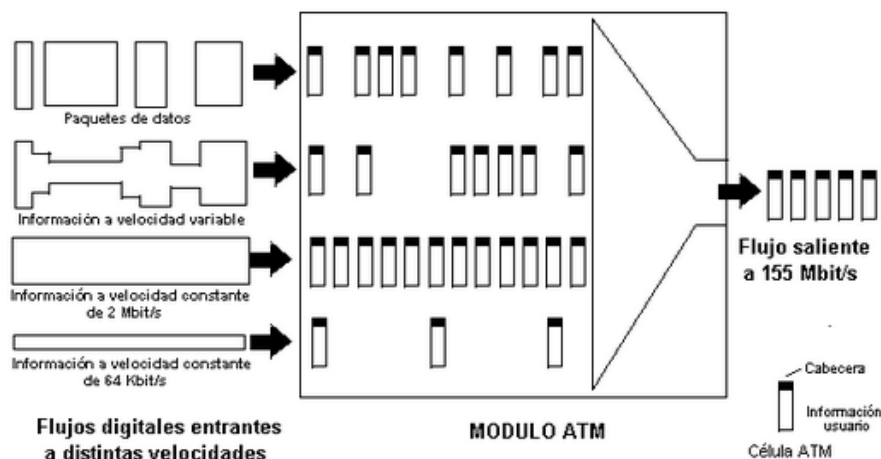


Figura 21: Proceso de transferencia de información en ATM

5.2. Primeras Redes de transporte de telefonía móvil

En el apartado anterior se han descrito las tecnologías que se usaron en las primeras redes. Vamos a pasar ya a describir cómo era la red de transporte de una de las principales operadoras de telefonía móvil de nuestro país y detallar su proceso de modernización, para focalizarnos 100% en el objetivo de este PFC.

Con una combinación de equipos y medios de transmisión que usan las tecnologías PDH y SDH descritas anteriormente, como son los radioenlaces, cableados tanto de pares y coaxiales como de fibra, equipos de cross-conexiones digitales (DXX, *Digital Cross-Connect*) que son conmutadores de circuitos para derivar y reordenar flujos de bajas capacidades en otros mayores, equipos ADMs (*Add-Drop Multiplexer*) que son multiplexores para extraer señales e insertar otras nuevas en una línea de mayor capacidad, Switches ATM y Routers (RXI) que permiten la conexión de varias estaciones base a la misma RNC.... se desplegó la primera red de transporte.

La mayoría de las operadoras fueron instalando sus redes en función de la sucesión de las diferentes generaciones tecnológicas, es decir, primero la GSM o 2G, luego la UMTS o 3G, luego la LTE o 4G, sin embargo la operadora de estudio se instauró en el mercado desplegando directamente el UMTS o 3G ya que no disponía de banda de frecuencia libre para el 2G hasta que posteriormente se hizo el *refarming* del espectro radioeléctrico liberando por

parte de otras operadoras parte de la banda que usaban para esa tecnología. En el momento del despliegue, la red 3G desplegada no estaba basada aún en las *Releases* 5 y 6 del 3GPP que fueron las que incluyeron IP como tecnología de red, por lo que el tráfico de los nodos B era aún ATM.

A continuación se muestra la arquitectura de la red inicial de esta operadora, los elementos que la constituían así como la topología de red y los escenarios disponibles.

5.2.1. Arquitectura de Red

Como ya vimos la red de acceso era la encargada de comunicar las estaciones base con las controladoras (Ver en Figura 15 la red de transmisión de acceso UMTS, que es de la que partimos en este caso).

Esta operadora usa una topología de red de árbol para la parte de acceso y topología en estrella para los puntos donde se concentraba el tráfico de varias estaciones base, POC (*Point of Concentration*).

Es importante tener en cuenta que cada elemento de la red, ya sea un emplazamiento exclusivo de transmisión (sin nodo B de radio) o un emplazamiento con nodo B, va a tener siempre una salida de transmisión que le conecta con el siguiente elemento. Consideramos como una unidad, la conjunción de un emplazamiento y su enlace de salida.

Explicado lo anterior, enumeramos los distintos niveles de agregación que existen en función del tráfico que concentra un emplazamiento y de la capacidad de su salida de transmisión:

- Emplazamiento final de cadena: es un nodo B que no agrega tráfico de ningún otro. En el despliegue inicial de esta red la capacidad por nodo B era de 2Mbps.
- Emplazamiento intermedio: es un nodo B que puede agregar tráfico de 3 o 4 nodos B más, ya sean en cadena o árbol.
- HUB: este emplazamiento puede agregar tráfico de hasta 15 nodos B, intermedios o finales, en su enlace de salida. En el propio emplazamiento puede haber un nodo de radio (HUB no exclusivo) o no haberlo (HUB exclusivo de transmisión).

- POC: este emplazamiento puede concentrar el tráfico de varios HUBs (hasta 4 HUBs por POC), nodos intermedios y finales. En el propio emplazamiento puede haber un nodo de radio (POC no exclusivo) o no haberlo (POC exclusivo de transmisión).
- XPOC o Super POC: concentra el tráfico de varios POCs. En el propio emplazamiento puede haber un nodo de radio (XPOC no exclusivo) o no haberlo (XPOC exclusivo de transmisión). La salida de transmisión de estos nodos será siempre una conexión de fibra, STM-1 en el despliegue, hacia la red principal, Core.
- Controladora: es el emplazamiento donde termina la red de acceso y donde en el despliegue de esta red se instalaron las RNCs. Normalmente coubicados a la RNC se encontraban los equipos ADMs, Switches ATM y Routers.

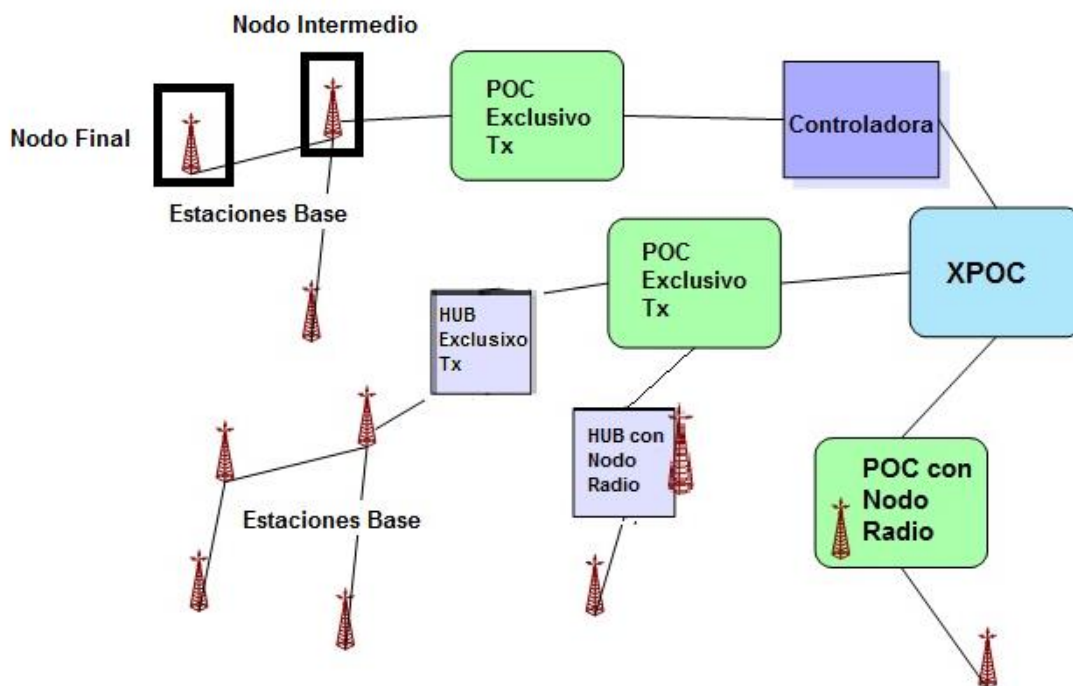


Figura 22: Topología de red en el despliegue

5.2.2. Escenarios disponibles en la red de acceso

Antes de ver escenarios que nos encontramos en la red de acceso desplegada inicialmente, vamos a desglosar ésta en dos partes:

- LRAN (Low RAM): es la parte de la red de acceso ubicada desde el nodo B hasta el punto de concentración de mayor jerarquía, XPOC o SúperPOC (*Point of Concentration*)
- HRAN (High RAM): es la parte de la red de acceso ubicada desde el punto de concentración de mayor jerarquía, XPOC o SúperPOC (*Point of Concentration*), hasta la RNC.

5.2.2.1. Escenarios en LRAN

En la LRAN básicamente nos encontramos dos escenarios:

- Uso de medios de transmisión propios de la operadora: siempre que fue posible se empleó para la salida de transmisión de los nodos, enlaces de microondas (o radioenlaces).

Un radioenlace es el conjunto de equipos de transmisión y recepción necesarios para el envío a través de ondas electromagnéticas de una señal entre dos puntos de una red distantes entre sí, y entre los que existe línea de vista, LOS (*Line of Sight*). Es el medio de transmisión más implantado en las redes de telefonía móvil ya que presenta numerosas ventajas frente a otros medios:

- ✓ La instalación es rápida y sencilla, y no requiere que se realicen canalizaciones en el subsuelo ni grandes trabajos de obra civil más allá de instalación de soportes o herrajes para las antenas.
- ✓ Son más baratos que los medios de transmisión por línea.
- ✓ Su mantenimiento es rápido y fácil, pudiendo realizarse muchas de las tareas en remoto.

De forma genérica un radioenlace se compone de una unidad interior, una unidad exterior, el cable de frecuencia intermedia que les une y las parábolas que se conectan a las unidades exteriores y envían la señal:

- ✓ Unidad Interior (IDU, *Indoor Unit*): Es la parte encargada de procesar la señal (modular/demodular, multiplexa/demultiplexar, enrutar,...). Se equipa con las tarjetas necesarias para ello, procesadora, interfaces de línea y tráfico, alimentación, etc, y trabaja siempre a frecuencia intermedia (IF) por lo que es independiente de la frecuencia de trabajo del radioenlace. Las tarjetas módems y de interfaces que la equipan, dependerán de la tecnología y capacidad del radioenlace. Como su nombre indica suele instalarse en interiores, bastidores o casetas.
- ✓ Cable de radio o de frecuencia intermedia, IF: Es el cable que conecta la unidad exterior con la interior. Es un cable coaxial que transporta todo el tráfico full dúplex, tanto tráfico de servicio como datos de operación y mantenimiento. Proporciona además alimentación DC a la unidad exterior.
- ✓ Unidad Exterior (ODU, *Outdoor Unit*): Es la parte encargada de generar y recibir la señal de radiofrecuencia, RF, a través de un canal de radio y convertirla al formato de la señal que utiliza el cable, frecuencia intermedia IF, y viceversa. Depende por tanto de la banda de frecuencia usada por el radioenlace y como su nombre indica se instala en exteriores, torres, azoteas, mástiles...
- ✓ Antenas: Son parábolas normalmente integradas con la unidad exterior aunque a veces se instalan separadas de ellas conectadas a través de guíasondas. Dependen también de la banda de frecuencia y su única función es radiar la señal que le llega de la ODU. Suelen ser muy directivas para dirigir la señal al extremo receptor lo más eficientemente posible.
- ✓ Acoplador o *Splitter*: Es un divisor de potencia que se usa únicamente en configuraciones de radioenlaces 1+1 conectando dos unidades radio (ODUs) a una misma antena para dotar al radioenlace de protección. Pueden ser simétricos o asimétricos.

La transmisión a través de los radioenlaces es dúplex y pueden clasificarse según la protección que ofrecen, su capacidad y su tecnología. Las cadenas de radioenlaces se diseñan en función de unos objetivos de calidad e indisponibilidad fijados por la operadora y según

las recomendaciones de la UIT, la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En la red de partida inicial de esta operadora, se instalaron radioenlaces PDH del fabricante Ericsson, Minilink E o TN (*Traffic Node*), en función del tipo de nodo, con las siguientes reglas de dimensionamiento:

- ✓ Las bandas de frecuencias usadas eran 18GHz, 28GHz y 38GHz siempre que el diseño lo permitiera ya que eran las bandas asignadas por la DGTEL, Dirección General de Telecomunicaciones, a la operadora. Si por cuestiones de diseño hubiera que recurrir a otra banda, se debía pedir licencia al Ministerio para su adjudicación.
- ✓ Los radioenlaces entre POC-HUB y RNC-POC eran protegidos debido a que agregaban el tráfico de muchos nodos B. Su configuración era 1+1 *Hot Standby* con una antena y un acoplador por emplazamiento. Con esta configuración se dotaba de protección ante fallos existiendo dos caminos posibles, uno activo y otro en *Standby* a la espera de activarse si se detecta fallo en el principal.
- ✓ Los enlaces entre HUBs-Nodo B se podían diseñar a 4x2 u 8x2 en función de si el nodo B era final o intermedio y dependiendo del número de nodos que agregara el intermedio. Configuración 1+0, sin protección.
- ✓ Se mantenía el criterio H/L (*High/Low*) por el cual en un mismo emplazamiento y para la misma banda de frecuencia, todos los enlaces instalados debían radiar en la misma semibanda para evitar así interferencias.
- ✓ Las capacidades iniciales en el despliegue se resumen a continuación:

		ANCHO DE BANDA (MHz)			
CONEXIÓN	CAPACIDAD TDM	Mbps	38GHz	28GHz	18GHz
POC-HUB	16x2	34	28/14	28/14	27.5/13.75
HUB-NODO B	8x2	16	14/7	14/7	13.75/7
HUB-NODO B	4x2	8	7	7	7
NODO B-NODO B	2x2	4	3.5	3.5	3.5

Tabla 4: Configuraciones de los radioenlaces en Low RAN en el despliegue

Mostramos en topología de red, las capacidades de los distintos radioenlaces de la L-RAN:

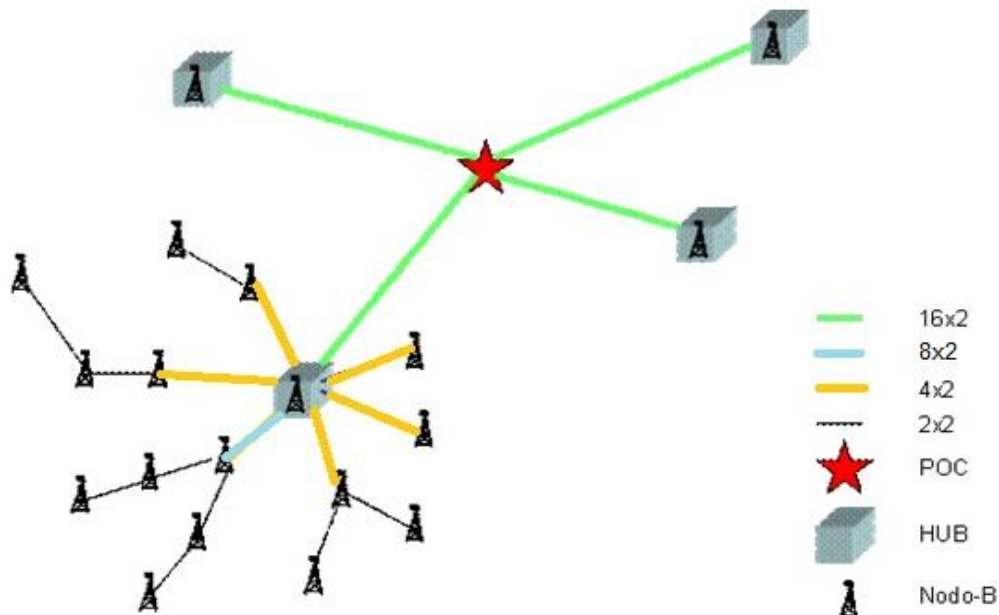


Figura 23: Capacidades de los radioenlaces en Low RAN en el despliegue

- Uso de red alquilada a otro operador o suministrador. Esta opción se empleó en emplazamientos propiedad de Telefónica en los cuales se estableció un acuerdo por el cual la operadora alquilaba al propietario una línea (LL, *Leased Line*) de transmisión para sacar el tráfico de los nodos ubicados en su propiedad. Telefónica cedía sus emplazamientos a cambio de proporcionar ellos el medio de transmisión asegurándose la renta de sus líneas.

En casos aislados, para algún emplazamiento propio de la operadora también se recurría al alquiler de una línea de transmisión únicamente cuando no era viable la salida de transmisión por medios propios. Esto se daba en emplazamientos en los cuales no se pudo instalar radioenlaces que conectaran con otros nodos de la red porque no existía visión directa con ninguno de ellos. En estos casos, se alquilaba la línea al suministrador cuya viabilidad fuera más económica.

En el despliegue de la red, estas líneas eran en todos los casos E1s.

5.2.2.2. Escenarios en HRAN

En la HRAN la conexión entre XPOC y RNC se realizó en el despliegue de la red a través de un STM-1.

En ocasiones podía existir un radioenlace de alta capacidad SDH, HC (*High Capacity*) entre el último POC o XPOC y la RNC pero lo más usual era usar una línea STM-1. En los emplazamientos donde se encontraban las RNCs estaban los equipos multiplexores y los switches ATM para insertar, extraer, derivar, reenrutar....los diferentes flujos de tráfico para enviarlos a la RNC.

- Para el tráfico de los nodos que se enviaba por radioenlaces hasta un POC o XPOC, en éste último se instalaba una tarjeta en el equipo de microondas, LTU155 (*Line Terminal Unit*), que permitía la terminación/inserción de los tributarios de 2Mbps de cada nodo pudiendo mapear hasta 63xE1. Estas tarjetas podían disponer de interfaces eléctricas u ópticas.
- Para el tráfico de los nodos que se enviaba a través de líneas alquiladas E1, éstos se agregaban en un STM-1 de agregación terminado también en otra LTU155 del equipo de microondas o bien directamente en uno de los ADMs de la RNC.

Posteriormente se realizaba la conexión de estas tarjetas con los ADMs, para después encaminar todos los flujos por los switches y routers hasta las RNCs a través de fibra óptica.

En caso de que existiera radioenlace entre el último POC y la RNC, su configuración era la siguiente:

		ANCHO DE BANDA (MHz)			
CONEXIÓN	CAPACIDAD TDM	Mbps	38GHz	28GHZ	18GHz
RNC-POC (XPOC)	STM-1	155.52	28	28	27.5

Tabla 5: Configuración de los radioenlaces en High RAN en el despliegue

Se muestra a continuación en topología de red, las capacidades de los distintos enlaces posibles de la HRAN:

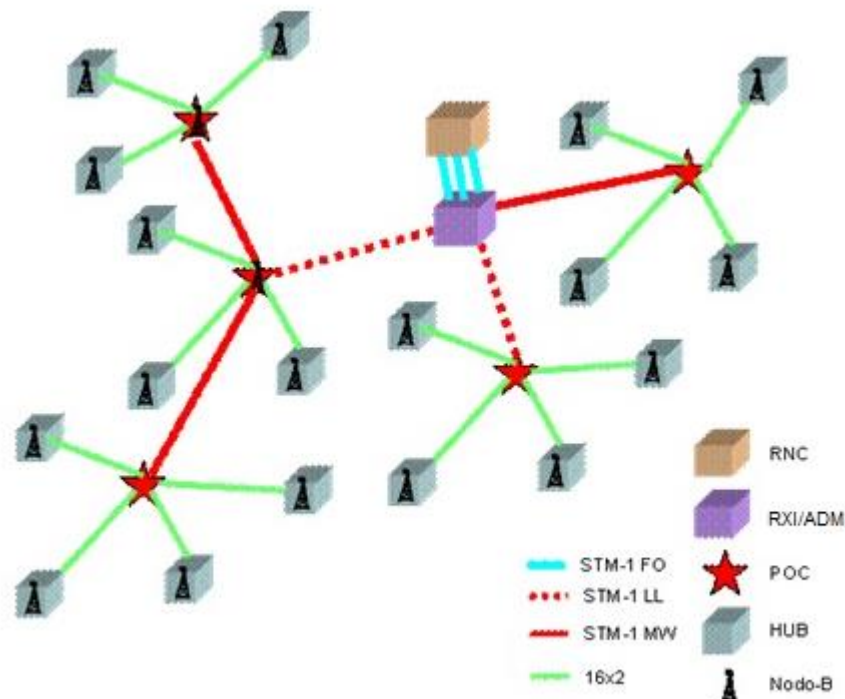


Figura 24: Capacidades de los radioenlaces en High RAN en el despliegue

Una vez analizados los distintos escenarios y la topología de la red de la que partimos, presentamos un esquema genérico para resumir la conectividad extremo a extremo, E2E (*End to End*) de la red de acceso inicial:

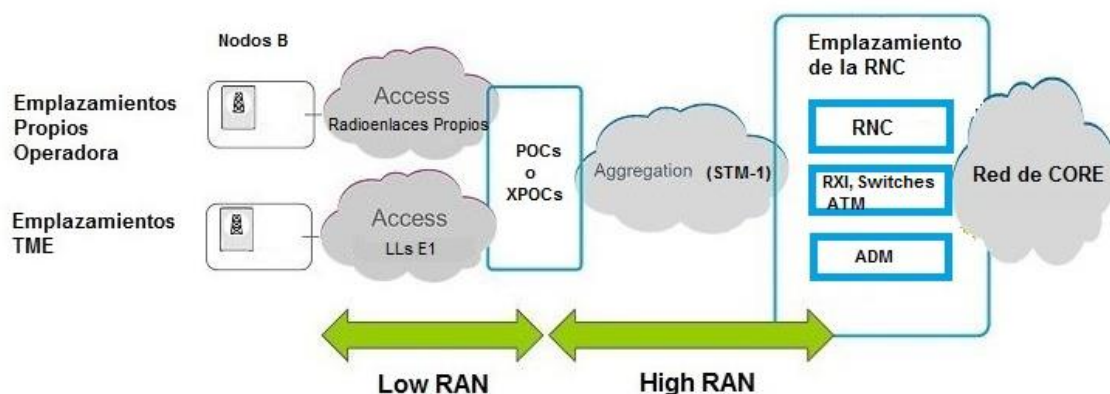


Figura 25: Conectividad End to End de la red de partida



Esta figura muestra los enlaces físicos de este POC y sus nodos B hasta llegar a la controladora, pero para acabar de constituir la ruta de transmisión de cada uno de ellos, sería necesario conocer también sus enlaces lógicos. Éstos se definen como la ruta extremo a extremo (se usa la expresión E2E cuando hacemos referencia al camino completo entre los dos extremos de un enlace) que sigue el tráfico desde que sale de la estación base hasta que llega a la controladora y por lo tanto incluyen los diferentes enlaces físicos que interconectan todos los elementos y equipos de la red por los que pasa dicho tráfico. Aunque no profundizaremos más en los enlaces lógicos de la red TDM/ATM de partida, mencionar que en ellos se deben identificar también los puertos usados de los equipos, las tarjetas, los flujos usados en los RE, las direcciones IP de los mismos, si aplica, o bien los contenedores virtuales usados así como la entrada a las controladoras. Se creaban para estos enlaces circuitos estáticos.

5.2.3. Equipos de radioenlaces usados en la red de partida.

En la red de partida inicial de esta operadora, se instalaron principalmente radioenlaces PDH del fabricante Ericsson, Minilink E. En función del tipo de nodo y la salida requerida también se usaron en menor medida en el despliegue otros equipos del mismo suministrador, Minilink TN (versión PDH) y HC (SDH). Vamos a explicar brevemente sus características y el uso que se les daba para ver posteriormente las limitaciones que presentaban cuando fue necesario modernizar y ampliar la red de acceso y cómo se tuvo que migrar a otras tecnologías de radioenlaces. Como concepto básico de los radioenlaces es necesario saber que para una configuración sin protección, 1+0, se usa un modem en la unidad interior (MMU, Modem Unit) conectado por el cable de IF a una ODU, mientras que para una configuración con protección, 1+1, se usan dos módems en la unidad interior, conectado cada uno de ellos a una ODU a través de cables IF. Todas las tarjetas de interior se alojan en bastidores llamados AMM (Access Module Magazine) de diferentes tamaños en función del tipo de nodo y de la familia de Minilink usada.

Este fabricante llama a las unidades exteriores RAU, Radio Access Unit.

Se muestran los 3 tipos de configuraciones y radioenlaces usados en el despliegue:

5.2.3.1. Minilink HC

Estos radioenlaces se instalaron de manera muy puntual en el HRAN para conectar POC o SúperPOC con la controladora. Usado para enlaces punto a punto, únicamente permitían un enlace 1+1. Su configuración era:

- Llevaba tráfico STM-1 (tecnología SDH)
- Tarjeta de interfaz de línea para el tráfico TRU (*Traffic Unit*)
- Usado para enlaces protegidos 1+1 Hot Standby. Dos MMUs y dos ODU.

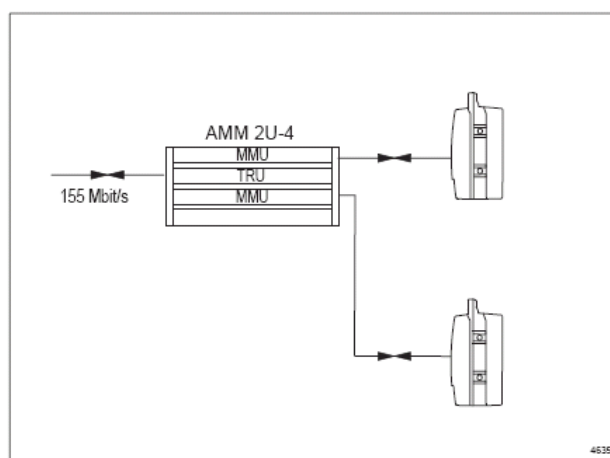


Figura 27: Configuración Minilink HC

5.2.3.2. Minilink TN

Estos radioenlaces se instalaron en los HUBs y POCs ya que permitían varios enlaces en cada emplazamiento. Debido al bastidor interno usado, se podían alojar en él múltiples módems para instalar múltiples radioenlaces.

- Llevaba tráfico PDH (en el despliegue de la red aún no se disponía de módems que soportaran tecnología IP)
- Usado tanto para enlaces sin protección, 1+0, como protegidos, 1+1.
- Tarjeta para multiplexación de la señal y protección del enlace, SMU (*Switch Multiplexer Unit*)
- Tarjeta de interfaz de línea para la agregación y mapeo del tráfico de los distintos nodos, LTU (*Line Terminal Unit*), en un STM-1.

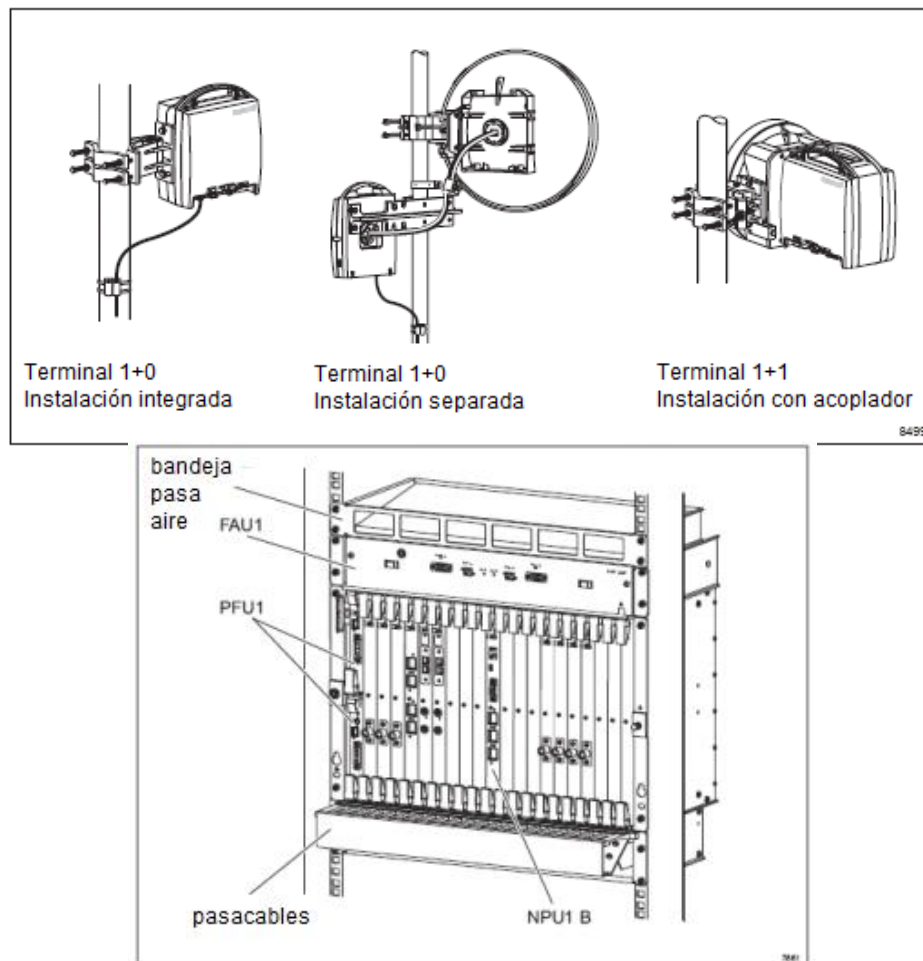


Figura 28: Configuraciones y bastidor Minilink TN

5.2.3.3. Minilink E

Estos radioenlaces se instalaron de forma masiva en la red de despliegue de nuestra operadora. Todos los nodos B estaban equipados con Minilink E. Era un equipo compacto y fiable que cuando salió al mercado poseía una tecnología muy avanzada y permitía operar en cualquier tipo de red ya que disponía de interfaces estandarizadas. Trabajaba en las frecuencias desde 7 a 38GHz.

- Llevaba tráfico PDH, desde 2x2 hasta 17x2 en la interfaz aire (17 E1s) que además podía ser configurado por software.
- Las MMUs existentes ofrecían junto a las RAUs disponibles, las siguientes capacidades en función de las licencias cargadas y anchos de banda

usados. Los módems usados en despliegue fueron MMU2B/C, ambos PDH.

Ancho de banda del canal	Capacidad Máxima en Mbps para MMU2B		
	Características opcionales. Capacidad hasta:		
	10	25	50
3,5 MHz	4		
7 MHz	8		
14 MHz		16	
28 MHz			34

Tabla 6: Capacidades Modem PDH inicial en Minilink E

- Usado para configuraciones sin protección, 1+0
- Debido a la limitación de espacio de los bastidores que usada, sólo se podían instalar hasta 4 enlaces por emplazamientos, por ellos solo podía usarse en nodos B finales de cadena o intermedios.

6. PROCESO DE MODERNIZACIÓN Y MIGRACIÓN DE LA RED DE ACCESO

Como ya se ha comentado, en su origen esta operadora desplegó su primera red para la tecnología UMTS, con bajas capacidades y usando para el transporte de la información de los nodos B una red de acceso TDM/ATM mediante nxE1s. Con la liberación de frecuencias disponibles para el 2G, la implantación de nuevos estándares de 3G (como el HSPA+) y el despliegue del 4G, tuvo que adaptar secuencialmente su red de acceso para conseguir varios objetivos: desplegar el GSM, cambiar la transmisión de su red de acceso PDH/SDH a Ethernet y desplegar el LTE.

Los rápidos avances que estaban teniendo lugar en la telefonía móvil con nuevos servicios que requerían mayor ancho de banda, teléfonos inteligentes, aplicaciones multimedia...hicieron que todas las operadoras vieran que las redes TDM/ATM por su naturaleza estática presentaban limitaciones a la hora de ampliar todos los recursos que estos avances estaban demandando.

Hasta la llegada del LTE las redes móviles podían seguir basándose en E1s pero con su llegada debían evolucionar a Ethernet para poder soportar IP (Internet Protocol), por lo que se hizo obligatoria la migración de las redes desplegadas hacia redes Ethernet para dar paso al tráfico IP y su protocolo que ya se usaba en la red de redes, Internet. De esta forma se conseguiría una convergencia entre redes fijas y móviles lo cual permite hoy en día a los usuarios desplazarse con su dispositivo móvil y usar distintos servicios sin cortes derivados de la conmutación de una red a otra, independientemente de la tecnología usada en cada momento.

6.1. Nuevos conceptos tecnológicos

A continuación se describen nuevos conceptos, protocolos y tecnologías que se usarán en la modernización de la red de acceso y transporte de estudio:

- Ethernet: Se trata de un estándar de redes de área local que emplea el método CSMA/DC, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*, o acceso múltiple por detección de portadora con detector de colisiones, el cual mejora considerablemente el rendimiento de la conexión de red. Define no sólo las características de los cables que deben usarse para establecer la conexión sino también todo lo relativo a

los niveles físicos de dicha conectividad y los formatos de las tramas de datos. Es considerado el principal protocolo del nivel de enlace.

Las tecnologías Ethernet que existen se diferencian por tanto por varios conceptos:

- ✓ Velocidad de transmisión: es la velocidad a la que se transmite la tecnología.
- ✓ Tipo de cable: es el tipo de nivel físico usado para la transmisión.
- ✓ Longitud máxima: es la máxima distancia que puede haber entre dos nodos adyacentes sin tener en cuenta estaciones repetidoras.
- ✓ Topología: es la que determina la forma física de la red. Será en *bus*, si se usan conectores T (ya obsoletos) o estrella si se usan *hubs* (estrella de difusión) o *switches*, (estrella conmutada).

Teniendo en cuenta estos conceptos se muestra a continuación una tabla con las diferentes tecnologías Ethernet.

Tecnología	Velocidad de transmisión	Tipo de cable	Distancia máxima	Topología
10Base2	10 Mbit/s	Coaxial	185 m	Bus (Conector T)
10BaseT	10 Mbit/s	Par Trenzado	100 m	Estrella (Hub o Switch)
10BaseF	10 Mbit/s	Fibra óptica	2000 m	Estrella (Hub o Switch)
100BaseT4	100 Mbit/s	Par Trenzado (categoría 3UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseTX	100 Mbit/s	Par Trenzado (categoría 5UTP)	100 m	Estrella. Half Duplex (hub) y Full Duplex (switch)
100BaseFX	100 Mbit/s	Fibra óptica	2000 m	No permite el uso de hubs
1000BaseT	1000 Mbit/s	4 pares trenzado (categoría 5e ó 6UTP)	100 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseSX	1000 Mbit/s	Fibra óptica (multimodo)	550 m	Estrella. Full Duplex (switch)
1000BaseLX	1000 Mbit/s	Fibra óptica (monomodo)	5000 m	Estrella. Full Duplex (switch)

Tabla 7: Tecnologías Ethernet

- Carrier Ethernet: Es un término que se refiere a la extensión en la utilización de redes de datos Ethernet con altas velocidades de transferencia para el envío de información a través de un proveedor de servicios de Internet que une redes de área local, redes gubernamentales o redes empresariales que se encuentran distribuidas en diferentes localidades geográficas. Permite a los proveedores de redes de telecomunicaciones proporcionar servicios Ethernet a los clientes y usar

la tecnología Ethernet en sus redes. Carrier Ethernet puede implementarse de tres maneras:

- ✓ Convencional o Ethernet "pura", también conocido como Ethernet nativo.
 - ✓ Ethernet sobre SDH, redes de datos ópticas
 - ✓ Ethernet sobre MPLS.
- E-Line: Es una línea virtual privada punto a punto de nivel 2. Se dice que es "virtual privada" porque tiene las mismas ventajas que las redes privadas en cuanto a gestión, seguridad y fiabilidad, pero como se crean sobre la red "pública" no se establece un alquiler como tal de la línea. Proporciona una conexión Ethernet punto a punto entre dos interfaces de la red de usuario. Se podrán definir múltiples servicios *E-Line* entre las mismas interfaces, independizándose el tráfico que lleva cada una mediante definición de VLANs.
 - E-LAN: Es una red virtual privada o un conjunto de líneas virtuales privadas multipunto a multipunto también de nivel 2. De manera análoga a las *E-lines*, el tráfico cursado por las diferentes ramas de esta red se independiza del resto y se diferencia mediante la definición de VLANs.
 - OSPF: El *Open Shortest Path First* es un protocolo de encaminamiento para redes IP basado en algoritmos que calculan la ruta más corta. La métrica que usa tiene en cuenta diversos parámetros tales como el ancho de banda y la congestión de los enlaces. Este protocolo va creando una base de datos enlace-estado idéntica en todos los *routers* o enrutadores de la zona. Utiliza unos paquetes específicos para conocer el estado de los enlaces y estos paquetes son enviados a todos los enrutadores del área donde está funcionando los cuales van acumulando esta información de estado de enlaces y calculan la ruta más corta a cada nodo.

OSPF puede operar en una jerarquía cuyo elemento principal es lo llamado sistema autónomo que es un grupo de redes que comparte estrategia de enrutamiento. El protocolo OSPF es interno cada sistema autónomo, aunque es capaz de recibir y enviar rutas a otros sistemas autónomos. Un sistema autónomo puede ser dividido en un número de áreas, que son grupos de redes contiguas con equipos conectados. Los

enrutadores con varias interfaces pueden participar en múltiples áreas pero mantienen bases de datos topológicas separadas para cada área.

- POS: El *Packet Over SONET/SDH* es un protocolo de comunicaciones que permite transportar tráfico IP sobre un STM-1 no canalizado. Se usa por tanto cuando se dispone de una infraestructura SDH y requiere de la existencia de una capa intermedia llamada PPP, *Point to Point Protocol*, que proporciona un método estándar para transportar datagramas multiprotocolo sobre enlaces punto a punto. POS permite usar la encapsulación del protocolo PPP para mapear datagramas IP dentro de la carga de las tramas SDH. Es un protocolo altamente escalable que supera algunas ineficiencias de ATM y a su vez compatibiliza la interconexión de redes de datos con las arquitecturas SDH existentes. Esta alternativa permite flexibilidad de servicios al poder transportar a la vez paquetes y telefonía tradicional, además reduce la complejidad del ATM y permite realizar tareas de operación y mantenimiento.
- ATM-PWE3: en general el término *pseudowire* se utiliza para la simulación de un "*pseudocable*" o cable transparente para llevar un servicio. Es por tanto una tecnología de transmisión extremo a extremo que proporciona túneles sobre redes de conmutación de paquetes, IP o MPLS para transportar servicios nativos (TDM, ATM,...). En lo que nos aplica el pseudowire se usará para llevar el tráfico ATM generado por un nodo B desde él hasta la RNC a través de una red de paquetes como MPLS.
- MLPPP: El *Multilink Point to Point Protocol* es una tecnología que consiste en agregar múltiples flujos E1 o VC-12 de 2Mbps sobre los que se establece el protocolo PPP. Con esta agregación de enlaces E1/VC-12 se creará un único enlace lógico de mayor capacidad en el cual se compartirá la carga de todos los flujos agregados de forma que si un enlace del MLPPP fallara su carga se repartiría entre los enlaces restantes de manera que no se tendrían cortes. Esta protección se consigue mediante métodos de detección de pérdida de señal y de conmutación a los enlaces operativos. En las redes de acceso móvil se construyen MLPPPs a través de los flujos E1s de radioenlaces PDH o de varios VC-12 de jerarquías ópticas STM-1 canalizados ya que se construye un MLPPP

sobre N conexiones E1 obteniendo un enlace virtual de Nx2Mbps de mayor capacidad para enviar paquetes.

- MPLS: El *Multiprotocol Label Switching* es un mecanismo de transporte de datos que opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red. Fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos (como ATM) y las basadas en paquetes (como IP/Ethernet) y puede ser usado para transportar diferentes tipos de tráfico, incluyendo tráfico de voz y paquetes IP. Las diferentes tecnologías existentes se mapean sobre paquetes MPLS realizando además la priorización de tráfico según niveles de calidad de servicio (QoS). En este protocolo se establecen caminos virtuales llamados LSPs (*Label Switched Paths*) basados en la conmutación de etiquetas entre los elementos centrales de la red MPLS que se denominan LSR (*Label Switched Router*). Los LSRs son unos enrutadores que incorporan la funcionalidad de conmutar en función del valor de la etiqueta que acompaña a los datos. En las redes de acceso encontramos MPLS implementado en las interfaces de la red que más flujo de tráfico transportan y que forman la parte troncal de la misma, proporcionando los niveles de seguridad, velocidad de transmisión y conmutación que se requieren en estas interfaces tan críticos. Es en esta parte de la red de acceso donde se encuentran los puntos de entrada en la red MPLS, los llamados LER, *Label Edge Router*, es decir los enrutadores que son las interfaces entre la red MPLS y otras redes. Estos LER son simplemente un LSR que cuenta con la habilidad de enrutar paquetes de redes externas a redes MPLS y a la inversa. Las etiquetas son distribuidas mediante protocolos de distribución que facilitan a los enrutadores la información acerca de la posibilidad de alcanzar otros enrutadores, y las etiquetas que son necesarias para ello.

Lo que se pretende conseguir con el MPLS es reunir las ventajas del resto de tecnologías preexistentes, como la flexibilidad y escalabilidad de IP o la fiabilidad de ATM en un único protocolo. MPLS puede por tanto crear circuitos virtuales como en ATM utilizando etiquetas añadidas a los paquetes IP. Estas etiquetas son las que definirán el circuito virtual por toda la red y permitirán una diferenciación de servicios según QoS.

MPLS no sólo proporciona una mayor fiabilidad y un mayor rendimiento, sino que a menudo puede reducir los costos generales mediante una mayor eficiencia de la red. Su capacidad para dar prioridad a los paquetes que transportan tráfico de voz hace que sea la solución perfecta para llevar las llamadas VoIP. Otras de sus múltiples propiedades son la robustez, que dispone de mecanismos de protección frente a fallos, conmutación de alta velocidad, compatibilidad con procedimientos de las redes IP en cuanto a operación, mantenimiento y gestión, transporte de todo tipo de servicios, escalabilidad, puede soportar múltiples redes privadas virtuales...

- FTTN: El término *Fiber To The Node (o Neighborhood)* hace referencia a un despliegue de fibra óptica que llega hasta el propio vecindario (en nuestro caso referido al nodo o emplazamiento). Esta fibra óptica en nuestra red de acceso podrá conectarse:
 - ✓ Directamente a la salida del tráfico de una estación base proporcionando a la mista todo el ancho de banda que ofrece la fibra.
 - ✓ A equipos de radioenlaces Ethernet: se puede usar esta opción en puntos de concentración que agregan el tráfico de varios nodos (para que esto sea factible todo el tráfico que se agrega debe ser ya tráfico IP) en los cuales no se considera imprescindible instalar un equipo MPLS.
 - ✓ A los equipos MPLS: en estos casos y dado que estos equipos se ubicarán en puntos que agreguen mucho tráfico es una óptima alternativa la conexión de la fibra óptica ya que proporcionará una altísima capacidad que será aprovechada tanto por el emplazamiento concentrador como por todos los nodos cuyo tráfico acabe en él.

6.2. Equipos usados en la migración

Para que la red de acceso pudiera adaptarse a los servicios IP de las nuevas tecnologías y fuera capaz de soportar todas ellas, las ya implantadas y las nuevas a implantar, esta operadora optó por reemplazar equipos existentes por otros más potentes y por introducir otros nuevos, de manera que:

- en primer lugar sustituyó de manera gradual los equipos ATM de agregación por nuevos equipos MPLS. De esta forma tendríamos en la parte de la red de acceso HRAN equipamiento capaz de soportar los estándares anteriormente descritos. Los equipos usados son de la familia Tellabs, instalando Tellabs 8630 en los puntos de concentración y Tellabs 8660 en los emplazamientos donde se ubicaban las controladoras.
- introdujo en la parte LRAN un nuevo equipo también del fabricante Ericsson que permitiría usar el mismo medio de transporte para las tres tecnologías que finalmente soportaría la red, 2G, 3G y 4G. Este equipo es la SIU (*Site Integration Unit*).
- Sustituyó los radioenlaces ya instalados por otros del mismo fabricante que introducirían el Ethernet nativo en todos los enlaces de microondas y permitirían incrementar la capacidad de la red de transmisión de forma gradual y con gran escalabilidad. Estos equipos serían los Minilink TN con los nuevos módems y unidades de radio capaz de soportar enlaces híbridos hasta la migración total a IP y modulaciones adaptativas.

6.2.1. Tellabs

Este equipo del fabricante que lleva su nombre, y *partner* también del suministrador Ericsson, es un router basado en IP/MPLS que presenta gran versatilidad de multiprotocolos. Consiste en un bastidor en el que se insertan tarjetas para diferentes servicios y tipos de transporte, IFM Interface Module. Este equipo es necesario para proporcionar interfaces físicas distintas y porque soporta varios protocolos de agregación; usaremos unos u otros en función de la fase de migración en la que nos encontremos. Se considera a estos equipos una nueva generación de los DXX, Digital Cross-Connect.

Estos equipos se desarrollaron para la transmisión de diferentes tipos de tráfico combinándolos entre sí y enviándolos con diferentes QoS. Los Tellabs 8600 son muy adecuados para las redes móviles y estaban optimizados para la migración al transporte basado en IP del tráfico del 2G (basado en TDM) y del 3G (basado en ATM). La posibilidad de compartir infraestructura de transporte para los diferentes servicios y el ahorro (eficiencia) de ancho de banda debido a la "agregación de paquetes" se traducían en un importante ahorro en costes para las operadoras.

La familia **Tellabs 8600** soporta las tecnologías TDM, Ethernet, FR, ATM e IP y cumple los requisitos más estrictos en cuanto a disponibilidad de la red y eficiencia operacional. Mediante el uso de IP/MPLS esta familia de equipos permite al operador usar el ancho de banda de una forma mucho más eficiente alejándose de los circuitos asignados estáticamente pasando al enrutamiento de paquetes dinámicos que es mucho más adecuado para los servicios de tasas de tráfico variables demandadas por las nuevas generaciones. Además MPLS proporciona al operador de la red una gran flexibilidad para desviar y enrutar el tráfico en caso de fallos de enlace, congestión y cuellos de botella.

Dentro de la familia Tellabs, los dos routers que se instalarán en la red de estudio serán:

- Tellabs 8630: Se instalarán en los puntos de concentración.
- Tellabs 8660: Se instalarán en los emplazamientos de las controladoras.

Se muestran a continuación algunas de las características generales de ambos:

- Soporte para múltiples tecnologías, entre ellas TDM, ATM, PPP, FR, Ethernet e IP/MPLS.
- Soporte completo para *pseudowires* permitiendo así un *backhaul* barato en las redes de paquetes.
- Soportan multiservicio vía software en un solo módulo de interfaces, IFM.
- Soportan redundancia completa, tanto de alimentación como de control.
- Soportan IP *routing* y L2 *switching*.



TELLABS 8660



TELLABS 8630

Figura 29: Equipos Tellabs usados en la red modernizada

6.2.2. SIU

La SIU, Site Integration Unit, es un equipo del fabricante Ericsson que será la pieza clave en los emplazamientos de las estaciones base para la migración a IP de la red de acceso.

Proporciona una interfaz común y funciones de transporte avanzadas que permitirán integrar todo el tráfico GSM, WCDMA y LTE de distinta naturaleza y encapsularlo sobre IP en una sola interfaz WAN (Wide Area Network). Esta interfaz WAN saca todo el tráfico de la SIU montándolo sobre un soporte físico que puede ser de distinta naturaleza (E1, fibra óptica, Ethernet...). Permite por tanto el transporte IP/Ethernet como IP sobre TDM.

Facilitará por tanto la migración de la red de transporte *legacy* (comúnmente se denomina así a la red desplegada inicialmente o red "heredada") al transporte de altas velocidades de las siguientes generaciones (Ethernet) reduciendo los costes de operación a través del transporte por interfaz compartida del tráfico 2G, 3G y 4G.

Algunas de sus características son:

- Enrutado de paquetes IP desde la interfaz WAN a la LAN o entre interfaces LAN
- Transmisión de E1s
- Soporta IP sobre TDM
- Contiene circuitos para interfaces eléctricas *Fast Ethernet* (10/100Mbps) y eléctricas de fibra óptica *Gigabit Ethernet* (1000Mbps).
- Distribuirá el sincronismo a la estación base conectada a través de los puertos E1 y de la interfaz de salida del reloj.
- Tiene funcionalidad de bridge y de router.

Se muestra a continuación este equipo con sus principales puertos e interfaces:

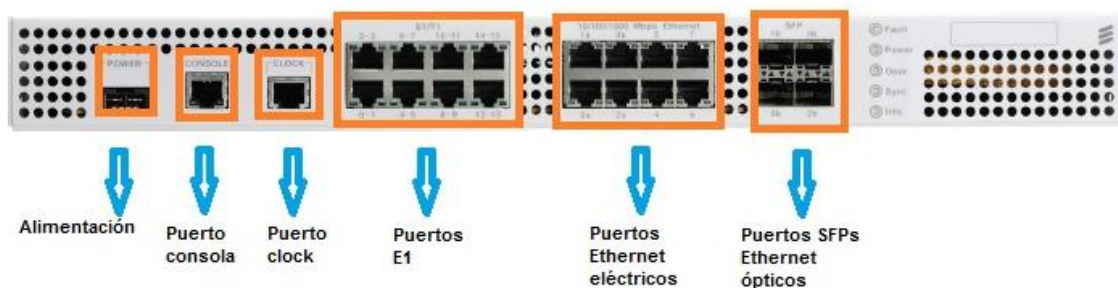


Figura 30: Equipo SIU y sus interfaces de conexión

- ✓ El puerto de alimentación para la alimentación del equipo
- ✓ Puerto consola para la gestión local mediante cable Ethernet
- ✓ Puerto reloj que permite a la SIU recibir/entregar una señal de reloj de/a otro equipo
- ✓ 16 puertos E1s que se pueden conectar a las estaciones base o equipos de microondas con el protocolo MLPPP.
- ✓ 8 puertos Ethernet eléctricos que van a tener varios usos: enlazar con los nodos B o e-nodos B, conectar la interfaz de salida WAN a un equipo de microondas o conectar la SIU a distintos equipos que manejen el tráfico IP. 4 de estos puertos están conectados a

los puertos SFP (*Small Form-Factor Pluggable*) eligiéndolos mediante configuración.

- ✓ 4 puertos SFPs Ethernet ópticos: van conectados a los puertos Ethernet eléctricos por los que tienen su mismo propósito. Se configura a qué puerto Ethernet va conectado cada uno de estos.

6.2.3. MiniLink TN

Para el proceso de modernización de la red de acceso se hizo imprescindible reemplazar los radioenlaces TDM, la mayoría PDH, que existían en la red por otros que usaran como tecnología de transporte en la interfaz aire el Ethernet. Dado que la migración en los emplazamientos se haría de forma progresiva, los nuevos radioenlaces deberían soportar tanto transporte híbrido de Ethernet y PDH (en las primeras fases en las cuales aún tendríamos nodos en ATM mientras que otros ya se habrían ido migrando) como el transporte de Ethernet nativo, cuando ya todo el tráfico fuera IP.

Los equipos usados para ellos son los Minilink TN del fabricante Ericsson, con los módems y unidades exteriores apropiadas, que se describen a continuación. Estos radioenlaces al principio se diseñaron para soportar tráfico TDM pero debido a su modularidad, únicamente sustituyendo MMUs antiguas por nuevas se consigue soportar el transporte Ethernet. La nueva generación de equipos Minilink es la solución ofrecida para cubrir los requisitos de flexibilidad en capacidad y modulación junto con una elevada eficiencia espectral:

- desarrolló módems que trabajan con la tecnología de transporte Ethernet y que pueden soportar distintas capacidades y tipos de modulación (desde CQPSK hasta 512QAM)
- ampliación de capacidad bajo licencia, de forma que no sea necesario cambio hardware en un enlace ya instalado si no únicamente la carga de una licencia de más capacidad
- las nuevas unidades de radio, RAUs2X, tienen mayores potencias de salida y trabajan con más niveles de modulación, desde C-QPSK hasta 512QAM permitiendo usar anchos de canal más pequeños para minimizar así las interferencias

- soporta la modulación adaptativa, bajo licencia, que hará que un enlace adecúe la modulación de trabajo y asegure cierta capacidad en función de las condiciones atmosféricas para garantizar siempre el envío del tráfico prioritario
- las reconfiguraciones de los enlaces, el enrutamiento de tráfico, la reasignación de ancho de banda y otros ajustes se realizan en remoto por lo que permite ahorrar en desplazamientos
- capacidad en la interfaz aire hasta de 1 Gpbs
- estos equipos soportan en el mismo enlace radio tanto tráfico TDM como tráfico Ethernet ya que integra doble bus Ethernet/TDM de manera que se permite un transporte separado de ambas técnicas permitiendo un uso más eficiente del ancho de banda del sistema
- proporciona interfaces Ethernet al disponer de nuevas tarjetas que soportan estas tecnologías, ETUs (*Ethernet Unit*) y de nuevas procesadoras con funcionalidades tales como *switching* Ethernet, definición de VLANs para la asignación de tráfico y usuarios, la agregación de tráfico Ethernet y la definición de avanzadas calidades de servicio, QoS.

6.2.3.1. Hardware instalado para la modernización de la red de estudio

La familia Minilink TN dispone de múltiples bastidores, tarjetas de interfaces de usuario, módems....por lo que se menciona a continuación los que se usarán en la modernización de esta red:

- AMM6pC → está optimizado para los nodos de red intermedios y finales. Sustituirá a los antiguos Minilink E instalados en este tipo de nodos. Permite alojar hasta un máximo de 5 tarjetas de tamaño completo y 2 tarjetas de tamaño medio.
- AMM20p → está optimizado para los nodos de agregación o emplazamientos con especiales requerimientos de crecimientos futuros por lo que en nuestra red se instalan en POCs y HUBs. Estos bastidores ya existían en la red *legacy* de estudio sólo que ahora se sustituirán en ellos

las tarjetas PDH por otras nuevas. Permite alojar hasta un máximo de 20 tarjetas de tamaño completo y 2 tarjetas de tamaño medio.



Figura 31: Bastidores usados de la familia Minilink TN

- MMU2H → es una unidad modem en la que tanto la capacidad como la modulación son flexibles modificándose vía software. Sustituirá a los módems PDH ya instalados, MMU2B. Se instala en cualquiera de los dos bastidores anteriores y soporta el control del tráfico Ethernet Nativo y tráfico PDH enviado sobre el mismo enlace de radio (hibrido) con granularidad E1. Puede trabajar hasta en 512QAM, soporta la funcionalidad XPIC (aunque no es usada en la red de la operadora de estudio) y permite emplear la modulación adaptativa, todo ello activado bajo licencias. La máxima capacidad de tráfico en la interfaz aire que puede ofrecer es 406Mbps usando canalización 56MHz (esta capacidad de duplicaría a 811Mbps con XPIC):



Modulación	Capacidad del interfaz aire (Mbps) y Modulación						
	Ancho de Banda del Canal						
	7 MHz(v0)	14 MHz (v0)	14 MHz (v1)	28 MHz (v0)	28 MHz (v1)	40 MHz(v0)	56 MHz(v0)
4 QAM	• 10 • 20 w XPIC ⁽¹⁾	21	• 21 • 43 w XPIC ⁽¹⁾	• 45 • 90 w XPIC ⁽¹⁾	• 46 • 92 w XPIC ⁽¹⁾	• 66 • 131 w XPIC ⁽¹⁾	• 94 • 187 w XPIC ⁽²⁾
16 QAM	• 21 • 42 w XPIC ⁽¹⁾	43	• 44 • 87 w XPIC ⁽¹⁾	• 91 • 183 w XPIC ⁽¹⁾	• 94 • 187 w XPIC ⁽¹⁾	• 133 • 266 w XPIC ⁽¹⁾	• 189 • 379 w XPIC ⁽¹⁾
32 QAM			• 54 • 107 w XPIC ⁽¹⁾		• 115 • 229 w XPIC ⁽¹⁾	• 167 • 334 w XPIC ⁽¹⁾	• 237 • 474 w XPIC ⁽¹⁾
64 QAM	• 31 • 61 w XPIC ⁽¹⁾	63	• 64 • 129 w XPIC ⁽¹⁾	• 134 • 268 w XPIC ⁽¹⁾	• 138 • 275 w XPIC ⁽¹⁾	• 197 • 394 w XPIC ⁽¹⁾	• 285 • 570 w XPIC ⁽¹⁾
128 QAM	35	72	• 74 • 149 w XPIC ⁽¹⁾	• 154 • 309 w XPIC ⁽¹⁾	• 159 • 319 w XPIC ⁽¹⁾	• 229 • 457 w XPIC ⁽¹⁾	• 326 • 653 w XPIC ⁽¹⁾
256 QAM	41	80	• 84 • 168 w XPIC ⁽¹⁾	• 171 • 341 w XPIC ⁽¹⁾	• 179 • 359 w XPIC ⁽¹⁾	• 257 • 514 w XPIC ⁽¹⁾	• 369 • 737 w XPIC ⁽¹⁾
512 QAM			95		• 200 • 400 w XPIC ⁽¹⁾	• 286 • 571 w XPIC ⁽¹⁾	• 406 • 811 w XPIC ⁽¹⁾

⁽¹⁾XPIC no usado en la red que nos aplica. (v0) no compatible con (v1). Para nuevos enlaces se usará (v1)

Tabla 8: Modem MMU2H y sus capacidades en la interfaz aire

- NPU3B → tarjeta procesadora a instalar en los AMM6pC. Dispone de 2 interfaces GE (para tráfico y gestión), 4 interfaces E1s y 2 interfaces de salida de usuario además de un switch interno gigabit Ethernet y la funcionalidad de agregación Ethernet.
- NPU1C → tarjeta procesadora a instalar en los AMM20p. Dispone de 2 interfaces GE (para tráfico y gestión), 8 interfaces E1s, 3 interfaces de salida de usuario y 2 interfaces SFPs Ethernet además de un switch interno gigabit Ethernet y la funcionalidad de agregación Ethernet.
- ETU3/ETU2B → tarjetas de interfaces Ethernet a instalar en los AMM6pC/AMM20p respectivamente cuando se requieran. Disponen de 2 interfaces GE y dos interfaces SFPs, eléctricas u ópticas.

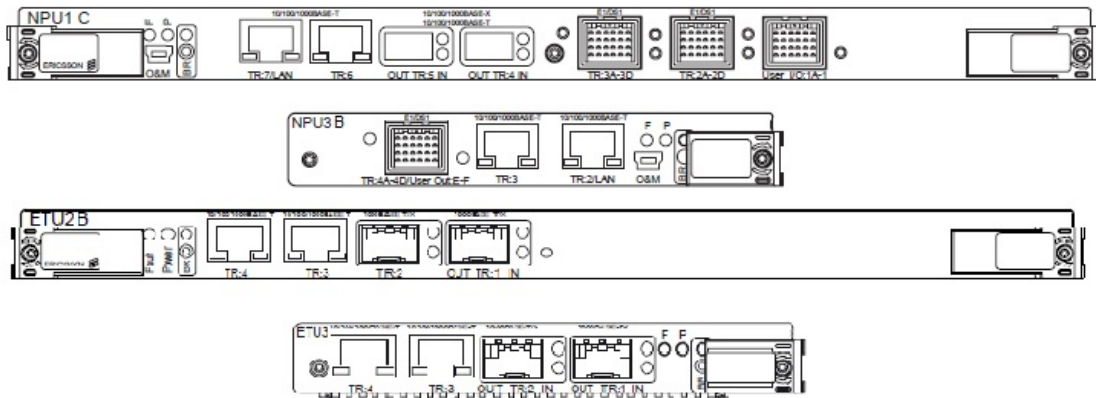


Figura 32: Procesadoras NPU1C/NPU3B y tarjetas de interfaces Ethernet ETU2B/ETU3 a instalar en los AMM20p/AMM6pC

6.2.3.2. Funcionalidades destacables en la migración

Por la importancia que tendrán en la migración de la red vamos a explicar un poco más en detalle dos de las funcionalidades de estos equipos de radioenlaces

6.2.3.2.1. Modulación adaptativa

Como se puede apreciar en la Figura 34 para una ancho de canal determinado, tendremos una menor o mayor capacidad en nuestro radioenlace en función del nivel de modulación en el que estemos trabajando.

Cuando se diseña un radioenlace, se hace en función del tráfico que tengamos que garantizar y que dependerá del número de estaciones base que cuelguen de él. Para ello se escogerá como nivel de modulación de referencia (el de diseño), el nivel mínimo que garantiza que en nuestro ancho de canal podemos asegurar dicha capacidad en la interfaz aire. Por ejemplo, si tenemos que garantizar una capacidad de 46Mbps y usamos un canal de ancho 28MHz, nuestra modulación de diseño será según la tabla anterior, 4QAM.

Si el equipo tiene cargada la licencia de modulación adaptativa esto hará que pueda ponerse a trabajar en cualquier nivel de modulación, desde 4QAM hasta 512QAM aumentando así la capacidad del enlace. Esto lo hará en función de las condiciones atmosféricas de manera que cuando éstas sean favorables,

trabajaremos en la máxima modulación para poder soportar mayores capacidades de tráfico en el radioenlace, mientras que cuando tengamos condiciones climatológicas adversas el equipo irá bajando de nivel de modulación aún a expensas de disminuir la capacidad para evitar así que el enlace se corte por la degradación introducida por dicho empeoramiento de las condiciones y por tanto de nuestro canal.

Se irá bajando hasta llegar al nivel de modulación de referencia, que era con el que garantizábamos la capacidad mínima que necesitábamos.

Explicado lo anterior, hay que tener en cuenta en el proceso de migración de enlaces TDM a enlaces Ethernet, que mientras se realice un transporte híbrido de ambos tipos de tráfico por los nuevos enlaces, éstos se deberán diseñar de forma que la capacidad mínima a garantizar sea siempre al menos la capacidad que requiere el tráfico TDM ya que es el más crítico, para que aunque perdamos capacidad en un momento de condiciones adversas, esta pérdida no afecte al tráfico TDM si no que lo haga al tráfico Ethernet.

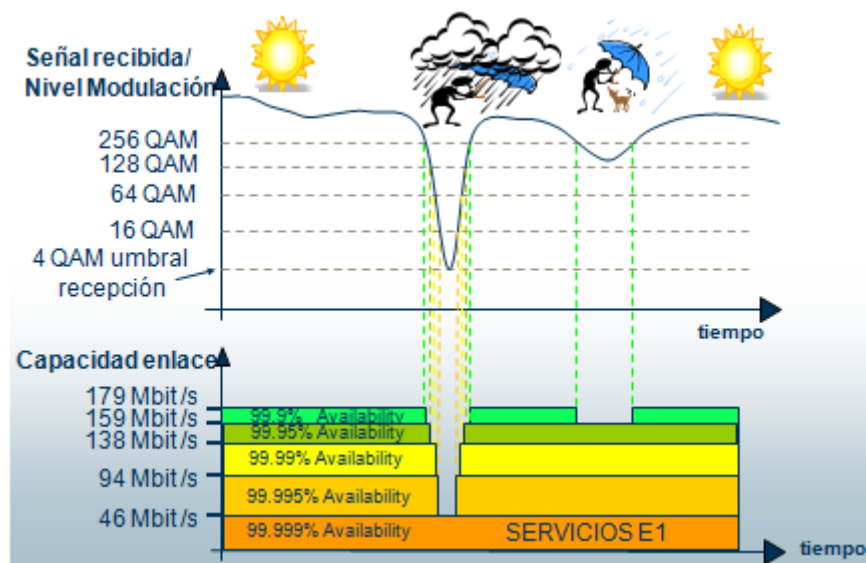


Figura 33: Modulación adaptativa

6.2.3.2.2. Transporte de tráfico híbrido en la interfaz aire

Como ya hemos visto estos equipos son híbridos y soportan en el mismo enlace tanto TDM, Ethernet y ATM. Además su unidad interior tiene avanzadas funcionalidades para integración de tráfico como *switching* Ethernet, realizar cros conexiones de E1, funciones de ADM, de agregación....El hecho de que permita envío de tráfico PDH nativo y Ethernet nativo así como la combinación de ambos hizo de este equipo la solución perfecta para la modernización de la red por el uso eficiente que realiza del espectro.

Una vez definida la capacidad máxima del radioenlace, en el mismo enlace tendremos tanto PDH como Ethernet con la siguiente distribución:

- PDH: $m \times E1$ para tramas PDH con "m" máximo de 80.
- Ethernet: n Mbps con "n" máximo de (capacidad máxima del radioenlace – $m \times E1$)

Cuando se finalice la transición del TDM a Ethernet, todo el espectro será usado para el Ethernet. Esto traducido a nuestra modernización significa que la capacidad total del enlace se podrá repartir, de forma que podemos reservar en cada salto varios E1s para el tráfico de los nodos que aún queden en ATM y el resto del ancho de banda se usará (hasta el límite de la capacidad dada por la licencia cargada) para el tráfico Ethernet.

Una vez que esos nodos se van modernizando y disponen de los nuevos equipos, su tráfico se migrará de la parte del ancho de banda reservada a los E1s a la parte reservada para el tráfico Ethernet, liberando esa reserva de E1 y aumentando el ancho de banda de tráfico Ethernet. Una vez que toda la cadena / rama se ha modernizado se pueden liberar todos los E1s que se habían reservado en todos los saltos de la cadena, para usar todo el espectro para tráfico Ethernet. Todo esto se puede hacer en remoto y desde los sistemas de gestión.



Figura 34: Transporte híbrido PDH/Ethernet

6.3. Migración y Modernización

Como ya se ha comentado, la tecnología desplegada no era adecuada para soportar las capacidades, aumentos de ancho de banda y servicios que se ofrecen en los estándares HSPA+ y LTE, los cuales se basaban en muchos casos en IP.

En este proyecto no se detalla el equipamiento radio de las estaciones base como tal, partimos de que se ha realizado el cambio de hardware/software necesario y que las estaciones base están equipadas con tarjetas que soportan tanto el 2G, 3G como el 4G, por lo que hablaremos de estación base englobando a las RBS, Nodos B y e-Nodos B. De igual manera se asume la instalación e integración de las controladoras y MGW, centrándonos en la propia red de transporte que comunica a ambos, estaciones base con controladoras.

Para que la operadora pudiera adaptarse a los servicios IP de las nuevas tecnologías, optó por reemplazar en primer lugar en la parte de la red HRAN los equipos ATM de agregación por los equipos MPLS, Tellabs 8630 en los Súper POCs y Tellabs 8660 en los emplazamientos de las controladoras.

En casos muy particulares en los que no se pudo enlazar POCs con Super POCs vía radioenlace en el despliegue de red, además de instalar un Tellabs 8630 en el Súper POC también se puede instalar otro en el POC para que pueda transportar el tráfico que agrega sobre el STM-1 canalizado que unía ambos emplazamientos.

Al principio de la modernización y mientras se pasaba a IP el tráfico de todas las estaciones base, seguíamos teniendo como línea de transporte los STM-1 de la red *legacy* por lo que se debían emplear técnicas para transportar tráfico IP/TDM, tanto sobre PDH como sobre SDH, para el tráfico de las estaciones que ya se hubieran pasado a IP. Por el contrario, cuando ya se migró a IP la línea de transporte que enlazaba los dos Tellabs, disponíamos por tanto de un GE de transporte, aún quedaban nodos con tráfico ATM que no se habían migrado por lo que para poder transportar su tráfico a través de la red MPLS se debían emplear técnicas para transportar ATM/IP como el ATM PWE que se configuraba en los Tellabs para emular circuitos dedicados punto a punto.

En paralelo a esto, se iba modernizando también la red de acceso situada entre las estaciones base y los puntos de concentración, LRAN, y para ello se

realizaban las siguientes acciones en función de los dos escenarios que nos encontrábamos heredados de la red situación de partida:

- Instalación de la SIU en todos los emplazamientos de las estaciones base
- Migración a IP de las líneas alquiladas que daban salida a los nodos en ATM. De esta forma pasaremos de tener E1s a FE con la capacidad demandada por las tecnologías implantadas (en caso de transmisión por línea alquilada)
- Cambio de los radioenlaces TDM existentes por los nuevos radioenlaces Ethernet, diseñados conforme a los criterios de la operadora (en caso de transmisión por medios propios)

La situación final se dará con una red *All IP* en la que tanto los nodos como las líneas de agregación y transporte sean IP puros.

6.3.1. Conexiones y Dimensionamiento en L-RAN

Como se acaba de mencionar, en todos los emplazamientos era necesario introducir la SIU. Vamos a describir cómo se conectaba este nuevo hardware a los distintos equipos que hubiera en el emplazamiento, las estaciones base y los TNs o conversores de medios (en función del tipo de la salida de transmisión). También detallamos el direccionamiento IP usado en esta parte de la red de acceso de forma que tengamos la información del camino físico y la información para crear el camino lógico en esta parte de la red.

6.3.1.1. Conexiones entre equipos

En la red de nuestra operadora, la conexión que tendrá la SIU con la estación base una vez que ésta se haya equipado con las tarjetas que soportarán todas las tecnologías será la siguiente: (La inclusión de la tecnología LTE fue posterior a las otras pero presentamos el escenario final con todas ellas)

- 2xE1 para el GSM
- GE para el WCDMA
- GE para el LTE

- FE para la red de gestión (en caso de nodos por transmisión propia)
- 1xE1 para la sincronización del 3G

Trabjará en modo router para el tráfico del 2G, 3G, para el NTP (*Network Time Protocol*) y el O&M, mientras que para el tráfico del 4G (S1/X2) operará en modo bridge.

La salida de la SIU será a través de un puerto Ethernet por el cual se transportará el tráfico de todas las tecnologías e irá conectado bien al TN, en el caso de los nodos cuya transmisión es por medios propios, bien al CdM (Conversor de Medios) en caso de los nodos cuya transmisión es mediante línea alquilada a terceros.

Mostramos a continuación la conectividad física de todos los equipos existentes en un emplazamiento ya modernizado con salida por RE y en otro emplazamiento con salida por LL, equipados ambos para soportar todas las tecnologías.

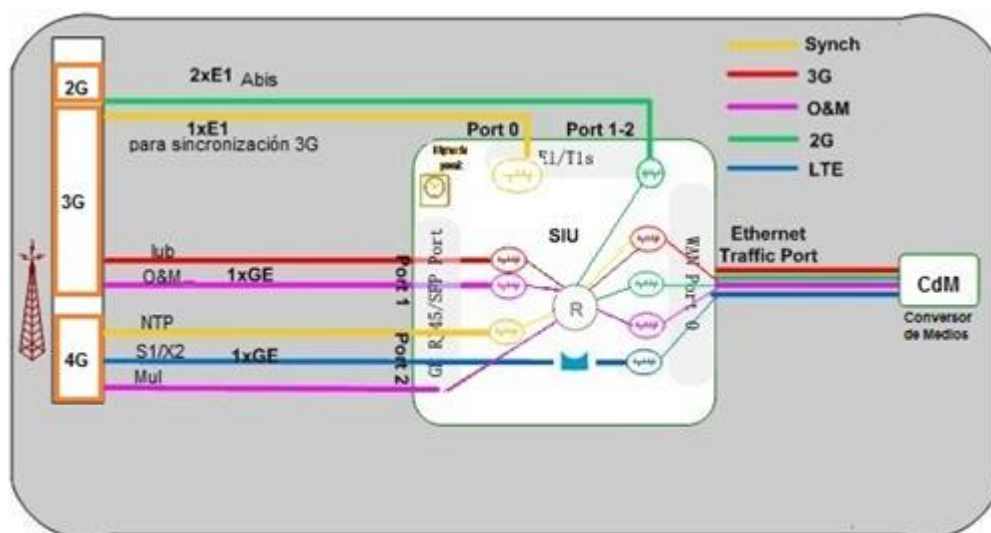


Figura 35: Conectividad de la SIU en emplazamiento con salida por LL

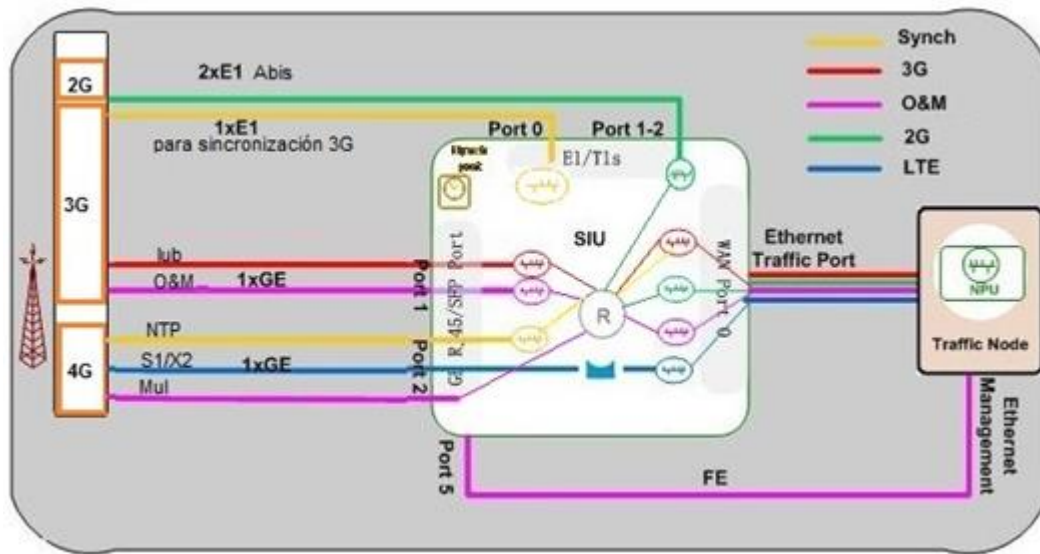


Figura 36: Conectividad de la SIU en emplazamiento con salida por RE

6.3.1.2. Dimensionamiento y Direcciones IP

Se detalla ahora el dimensionamiento de esta parte de la red en cuanto a la asignación de direcciones IPs tanto para el equipamiento de las estaciones base como para las interfaces de los equipos de transmisión SIUs, TNs y Tellabs coubicados.

- Para el tráfico de gestión, operación y mantenimiento se define una red de área local /27 por cada emplazamiento. Esta red englobará el tráfico de gestión del 3G (O&M) que usará el primer rango /28, el de la gestión del TN a través de la SIU (en casos de salida de tráfico por radioenlace) que usará el siguiente /30 y el de gestión del 4G (Mul) que usará el siguiente /30. Existirá una etiqueta VLAN para todo este tráfico. El último rango /29 queda libre para futuros usos.

	O&M	TN	MUL	Libre
	/28	/30	/30	
Emplazamiento	/27			
	VLAN de gestión (101)			

Tabla 9: Direccionamiento IP por emplazamiento para el tráfico de gestión y O&M

- Para el tráfico del 3G (Iub) se define una red de área local /30 por cada emplazamiento para la conexión entre las tarjetas que soportan el 3G y la SIU. Se definirán por tanto para cada NodoB dos VLANs con etiquetas distintas para diferenciar el tráfico (Iub) de la gestión antes comentada (O&M).
- Para el servicio NTP se definen redes locales /30 entre el e-Nodo B y la SIU con su propia etiqueta VLAN.
- Para el servicio S1/X2 y debido a que éste no pasaba por el router de la SIU, habrá una red /25 por cada interfaz del Tellabs (e-nodo B-SIU bridge nivel 2- interfaz Tellabs). Todos los e-nodos B cuyo tráfico acabe en la misma interfaz del Tellabs, ya sea una interfaz de línea o de radioenlace, pertenecerán a la misma red cuya primera dirección IP siempre será asignada al propio Tellabs. En este caso no existirá por tanto VLAN entre e-nodo B y SIU sino directamente entre SIU y Tellabs.
- Para las conexiones entre SIU y TN, además del /30 ya indicado para la gestión del TN (a través de un FE) vimos que existía otra conexión para el tráfico de todas las tecnologías a través de una interfaz Ethernet. Esta conexión es únicamente de nivel 2 por lo que el transporte es transparente por los TNs. En caso de nodos por salida con transmisión propia, la SIU se conectará al conversor de medios mediante un cable Ethernet eléctrico y se negociará la velocidad de transmisión actuando también a nivel 2.
- Por último en lo referente a las conexiones entre SIU y Tellabs ubicados en los puntos de concentración tendremos el siguiente dimensionamiento:
 - ✓ Estos Tellabs estarán equipados con tarjetas Ethernet. Hasta 125 SIUs podrán llevar su tráfico a una misma interfaz de un Tellabs, en caso de interfaz de radioenlace, y hasta 100 SIUs podrán llevar su tráfico a una misma interfaz de un Tellabs, en caso de interfaz de LL.
 - ✓ Se define una red /25 para cada tipo de tráfico transportado en la conexión SIU-Tellabs (una /25 para el tráfico 2G, una /25 para el de O&M y una /25 para el de 3G). La primera dirección IP de cada una de esas tres redes se asignará a la interfaz física del Tellabs y

las siguientes serán asignadas a la interfaz física de cada una de las SIUs que acabarán en esa interfaz del Tellabs.

- ✓ Dado que los tres tipos de tráfico de un emplazamiento comparten el mismo enlace físico, se asignarán etiquetas VLANs distintas para cada tráfico.
- ✓ Estas VLANs serán comunes para todos los emplazamientos que acaban en la misma interfaz Tellabs pero serán distintas entre las distintas interfaces entre sí. Es decir, todos los nodos que van por radioenlace y acaban por ejemplo en la interfaz A de RE de un Tellabs (podrá haber varias interfaces por RE) tendrá las mismas VLANs para cada tipo de tráfico, y todos los nodos que van por línea alquilada y acaban por ejemplo en la interfaz A de LL de un Tellabs (podrá haber varias interfaces por LL) tendrán las mismas VLANs para cada tipo de tráfico. Sin embargo las VLANs de los nodos que van por RE serán distintas a las de los nodos que van por LL. En el caso de los emplazamientos cuyo tráfico se transporte por un FE de un suministrador externo, éste deberá configurar dichas VLANs en la línea.

Siguiendo la división de escenarios que ya teníamos en la red inicial, se presenta a continuación la migración de los mismos. La topología de red se mantendrá aunque aumentarán los criterios de diseño en cuanto a las capacidades de los radioenlaces debido a la mayor cantidad de tráfico que llevarán. De manera análoga también será necesario un incremento de caudal en las líneas alquiladas a terceros.

6.3.1.3. Transmisión y Transporte mediante Minilink TN

Todos los emplazamientos propiedad de la operadora usaban medios propios para el transporte que ahora deberán ser reemplazados por los radioenlaces Ethernet Minilink TN para soportar el transporte Ethernet y para adaptarse a las nuevas capacidades demandadas. Los criterios de modernización pasaron a ser de 2Mpbs por nodo en la red *legacy* a 6Mpbs en la primera fase de modernización, 21Mbps en la siguiente y 46Mbps en la última con la aparición del LTE.

Las capacidades finales de diseño se presentan a continuación y dependerán en este caso no tanto de la jerarquía del nodo sino del número de emplazamientos que cuelguen de él y del tráfico medio y de pico que vayan a llevar. Se presenta la capacidad a la que se debe diseñar estos nuevos enlaces así como la licencia de capacidad a cargar en cada caso la cual limitará el máximo nivel de modulación con el que el radioenlace podrá trabajar. Los enlaces que estuvieran protegidos mantendrán su protección y en los nuevos diseños que fuera necesario implementar, se tendrá protección 1+1 en aquellos enlaces que lleven más de 15 nodos:

Número de nodos	Trafico Pico	Tráfico medio	Tráfico medio+pico	Diseño Mod-BW	Diseño Garantizado por Mod-BW	Diseño Tráfico medio+pico	Diseño Mod BW Max (licencia)
1	92,4	50	92,4	4 QAM-28 MHz	46	94	100
5	100	50	150	4 QAM-28 MHz	46	160	200
10	100	100	200	16 QAM-28 MHz	94	200	200
15	100	150	250	32 QAM-28 MHz	115	200	200
20	100	200	300	16 QAM-56 MHz	189	327	350
25	100	250	350	16 QAM-56 MHz	189	369	500
30	100	300	400	32 QAM-56 MHz	237	406	500
35	100	350	450	64 QAM-56 MHz	285	406	500

Tabla 10: Capacidades y criterios de diseño para la red final

Hay que tener en cuenta que este dimensionamiento de tráfico se hace en función de estudios realizados por cada operadora, en función de tráfico estimado, picos, número de usuarios y empleando para ello diferentes métodos de predicción. En este caso la operadora hace sus propios cálculos de tráfico y es el suministrador de equipos el que plantea los criterios de diseño mostrados en la tabla anterior conforme a lo fijado por el operador.

Los cambios a realizar por tanto respecto a la red *legacy* son:

- En nodos finales e intermedios: reemplazar el MiniLink E por el MiniLink TN con AMM6pC el cual se equipará con las ya mencionadas NPU3B, dos tarjetas de alimentación para dar redundancia y tantos módems MMU2H como radioenlaces haya en el nodo (sustituyendo a los antiguos MMU2B)

- En los HUB/POCs/SuperPOCs: ya estaba instalado el bastidor AMM20p por lo que habría que reemplazar la controladora existente por la NPU1C y los módems existentes por los MMU2H.
- En todos los emplazamientos se cargarán las licencias para funcionalidades Ethernet, modulación adaptativa y las correspondientes licencias de capacidad conforme al diseño.
- Además se reemplazarán las unidades exteriores existentes por las nuevas RAUs2X cuando por criterios de diseño las ya instaladas no nos permitan llegar a la capacidad que necesitamos.
- Como ya indicamos en los nuevos radioenlaces coexistirá el Ethernet Nativo para el tráfico IP y el TDM para el tráfico ATM, hasta que todos los nodos cuyo tráfico va por el radioenlace en cuestión se hayan modernizado.

En cada emplazamiento la SIU se conecta a través de una interfaz GE a la NPU del TN. Se crea una red Carrier Ethernet a través de los TNs de forma que el etiquetado de VLANs que se definirán para los distintos servicios y tráficos, se transportarán de forma transparente desde la SIU hasta los Tellabs por la red de radioenlaces.

Además, en el caso de los Súper POCs se conectará la NPU1C del TN mediante fibra óptica (SFP) al Tellabs que tendrá coubicado, Tellabs 8630.

La gestión de los TNs se hará a través de la SIU por otra conexión FE entre ambos que hará que se conecte a la red de operación y mantenimiento a través de la VLAN específica para ello.

Esta sustitución progresiva de los radioenlaces TDM a los nuevos Ethernet se fue haciendo comenzando por los enlaces que más tráfico concentraban, salidas de transmisión de los POCs y HUBs, continuando por los enlaces de los nodos intermedios y terminando en los enlaces de los nodos B final de cadenas. Con esta migración descendente se pretendía evitar congestiones o cuellos de botella que vendrían derivados de dejar para último lugar la migración a Ethernet de los enlaces que debían soportar mayores capacidades. Al ser éstos migrados en primer lugar, dispondrán en todo momento de ancho de banda suficiente para llevar el tráfico de todos los nodos que cuelguen de él, modernizados ya o no.

En la siguiente figura se muestra la red LRAN de transporte Ethernet basada en radioenlaces, con las conexiones, enlaces, redes IP y VLANs.

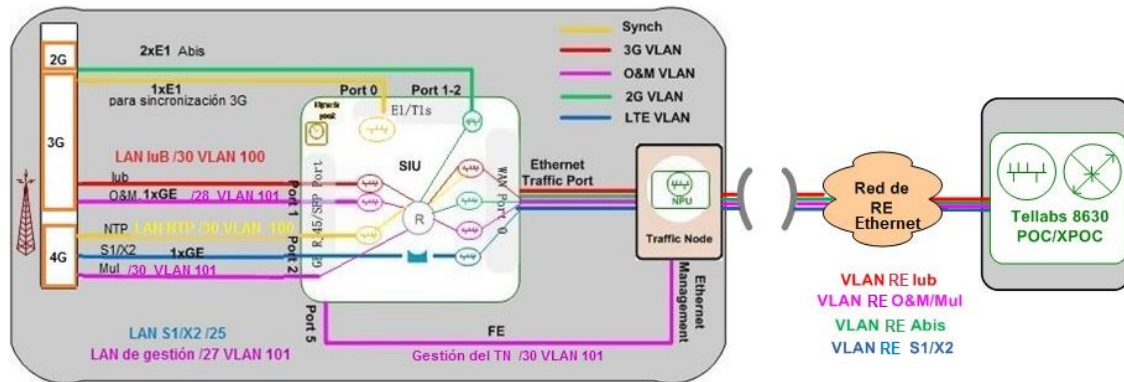


Figura 37: Red de transporte con radioenlaces Ethernet en LRAN

6.3.1.4. Transmisión y Transporte mediante FTTN Carrier Ethernet

En los emplazamientos propiedad de Telefónica y en algunos propiedad de la operadora que no tenía LOS con ningún otro punto de la red, vimos que la salida de transmisión en la red *legacy* era una línea alquilada, en concreto E1.

En la fase de migración, una vez que la estación base se ha equipado con las tarjetas que soportan todas las tecnologías y se ha instalado la SIU para transportar y enrutar el tráfico de todas ellas, se solicita a Telefónica un FE que se transportará por fibra óptica y será agregado en un GE del mismo suministrador que se entregará en los Tellabs cabecera, los 8660 que se instalan en las controladoras.

Esta tecnología es la denominada FTTN, *Fiber to the Node*, y consiste precisamente en desplegar tendido de fibra óptica hasta el propio emplazamiento o bien usar el ya desplegado por otros operadores como es nuestro caso. En el caso de la LRAN la fibra óptica se conecta directamente a la entrada/salida de tráfico de la estación base (al equipo conversor de medios del suministrador de la fibra) de forma que el nodo dispone de todo el ancho de banda que ofrece la fibra quedando dotado de una gran capacidad. Se dice que el enlace establecido es Carrier Ethernet ya que el proveedor de la red ofrece servicios Ethernet a los clientes que alquilan sus medios utilizando Ethernet

Nativo. Se usa directamente una red Carrier Ethernet para conectar el emplazamiento con el Tellabs concentrador y las VLANs de los servicios se llevan por esta red.

En estos casos se solicita a Telefónica un FE cuya capacidad podrá ser de 30, 50 o 100Mbps. En la fase inicial de la modernización todos los FE se solicitaron con caudal de 30Mbps pero conforme se fue introduciendo el LTE se fueron aumentando los caudales para disponer de más capacidad en el medio, llegando a los 100Mbps que tienen los emplazamientos con cobertura de 4G. La ruta lógica de estos emplazamientos pasará por el equipo MPLS Tellabs 8660 que tiene conectado el GE de agregación para su encaminamiento hacia las controladoras o red de Core.

El suministrador es el encargado de configurar en las líneas que se le alquilan las VLANs de todos los servicios que se transportarán por ellas y que serán definidas en las interfaces de LL del Tellabs donde se termine la conexión. Como ya se ha mencionado en estos casos la SIU se conectará al conversor de medios en el que Telefónica entrega su línea mediante un cable Ethernet eléctrico y se negociará la velocidad de transmisión. El proveedor Ethernet trabaja sólo en nivel 2 actuando como switch y proporcionando conectividad de capa 2 hasta el Tellabs más cercano que en este caso será el ubicado en las controladoras. Este Tellabs trabajará ya a nivel 3 convirtiéndose en el router por defecto para la SIU.

Una vez que se ha modernizado el emplazamiento y que su tráfico se ha migrado del E1 al FE, se procede a la baja del E1 para dejar de pagar los costes derivados de su renta.

En la siguiente figura se muestra la red LRAN de transporte basada en FTTN Carrier Ethernet, con las conexiones, enlaces, redes IP y VLANs.

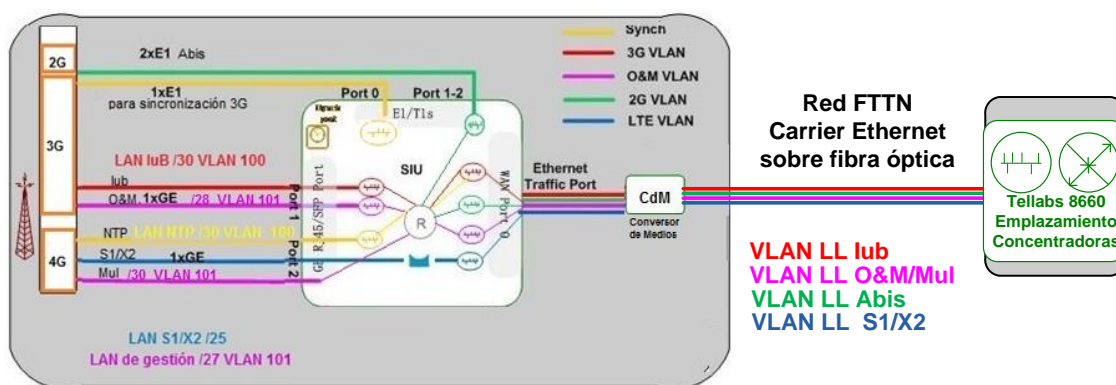


Figura 38: Red de transporte FTTN Carrier Ethernet en LRAN

6.3.2. Conexiones y Dimensionamiento en HRAN

Vimos que en la parte HRAN de la red se introducían los nuevos equipos routers MPLS de agregación de nivel 2 y 3, Tellabs 8630 en los Súper POCs y Tellabs 8660 en los emplazamientos de las controladoras. Éstos últimos son comúnmente llamados Tellabs cabecera.

Por el mismo motivo por el que la migración a los radioenlaces a Ethernet era preferible hacerla de forma descendente, la introducción de los equipos MPLS se debía hacer con anterioridad a la modernización de la parte LRAN de forma que los puntos de gran agregación y concentración de tráfico estuvieran preparados desde el principio para soportar tanto los aumentos de ancho de banda necesarios para la modernización de emplazamientos y enlaces, como las diversas tecnologías que convivirían en la red pudiendo transportar IP/TDM y ATM/IP hasta la migración total a IP.

Los routers Tellabs transportan el tráfico y la red de datos y gestión que proviene de la red LRAN llevándolo tanto a las controladoras (tráfico de 2G, 3G y NTP) como al sistema de operación y mantenimiento (el tráfico de gestión de las estaciones base) y a la red de Core de 4G (servicio S1). Además re-enrutará el servicio X2 hacia los e-nodosB que estarán implicados en el proceso de *hand-over* cuando aplique.

6.3.2.1. Conexiones entre equipos

Vamos a describir cómo se conectan los nuevos equipos Tellabs entre sí y con el resto de equipos ya instalados en la red:

Los Tellabs 8630 son los conectados a los TNs de los Súper POCs. Tendrán al comienzo de la migración una conexión mediante STM-1 canalizado a la LTU155 del TN para los nodos aún en ATM que llegan por radioenlace y una conexión mediante un GE a la NPU1C del TN estableciéndose una red Ethernet E-LAN para los nodos que llegan ya en IP.

Además en los casos de los Súper POCs que agregan el tráfico de provincias pequeñas para después transportarlo a una provincia más grande (al Tellabs cabecera), las líneas de Telefónica, STM-1 antes de la migración y GE después, también se conectan al Tellabs 8630 (Tellabs provincial) para agregar todo el

tráfico de los emplazamientos cuya salida de transmisión es por línea alquilada (E1s o FEs).

Los puertos usados en los Tellabs para estas conexiones son ópticos.

Por dimensionamiento inicial, hasta 100 nodos podrán ser agregados en un mismo GE por lo que si hubiera más de 100 emplazamientos por LL, sería necesario solicitar a Telefónica un segundo GE de agregación. Como ya mencionamos anteriormente para cada interfaz GE del Tellabs 8630, el usado para agregación de nodos por FE y el usado para agregación de nodos por RE, se define una red /25 para cada servicio que engloba a las estaciones que acaban en dicha interfaz y cuya primera dirección IP se asigna al propio Tellabs. Los servicios en cada interfaz quedan identificados por las VLAN y difieren entre las dos interfaces.

A continuación se muestra la conectividad en un Súper POC de provincia pequeña en lo referente al nuevo equipo Tellabs 8630 con GE de agregación y las dos conexiones hacia el TN, junto con las direcciones IP y VLANs.

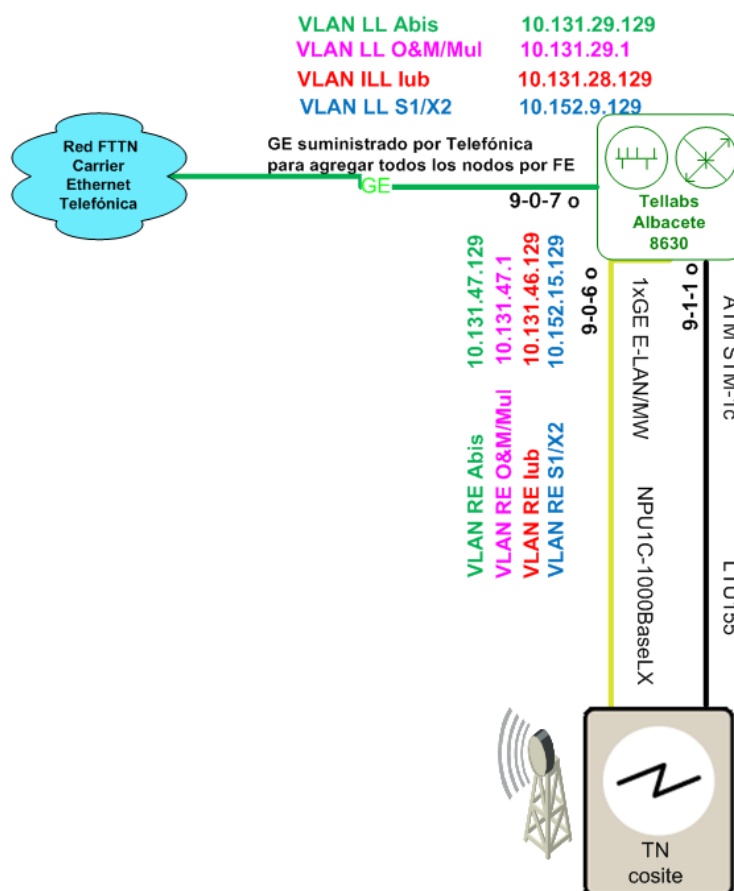


Figura 39: Conectividad de Tellabs 8630 en XPOC

La conexión entre los Tellabs de los Súper POCs y los Tellabs de las controladoras se realiza al principio de la migración a través del STM-1 no canalizado de transporte heredado de la red desplegada, en cuyo caso tendremos que hacer uso en los equipos de la tecnología POS para poder llevar por el enlace SDH el tráfico IP de los nodos ya modernizados y migrados a Ethernet en el LRAN.

Para la migración total a IP es necesario disponer en esta parte de la red de transporte de un GE que se solicita al suministrador que mejores condiciones ofrezca y que no tiene por qué ser el mismo que el suministrador de la línea SDH. Una vez que nos sea entregado se migrará todo el tráfico que llevaba el STM-1 al nuevo GE teniendo que configurar en este caso en los equipos MPLS los ATM PWE3 para transportar sobre el enlace Ethernet el tráfico de los nodos aún sin migrar a IP en la LRAN. Tras la migración se dará de baja el STM-1 para no seguir pagando las cuotas de renta.

Al final de la modernización y si todos los enlaces y nodos de la red se han podido pasar a IP, el transporte por esta líneas será todo IP Nativo sobre lo denominado E-Line (línea Ethernet extremo a extremo).

A pesar de que en cada emplazamiento de controladora se instalan dos Tellabs 8660 para darse protección y redundancia entre sí y hacia las BSCs, RNCs y Routers, no existirá redundancia en las conexiones SDH o Ethernet para el transporte entre cada Tellabs 8630 y su Tellabs cabecera 8660. Se establece por tanto una conexión punto a punto entre ellos, definiéndose para cada una de las conexiones un red /30.

Vemos en la siguiente figura la conectividad Tellabs 8630-Tellabs 8660 representando las dos posibles líneas de transporte, siendo el GE el único que quedará tras la modernización y migración del tráfico.

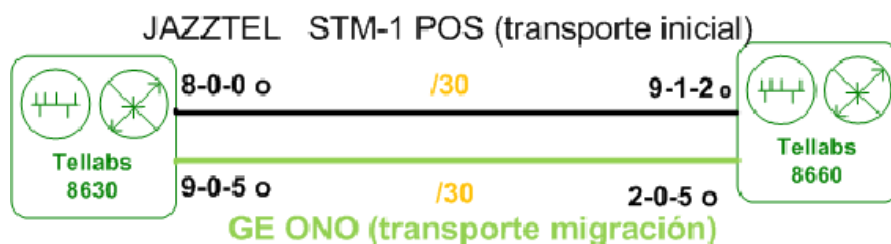


Figura 40: Conectividad entre Tellabs 8630 y Tellabs 8660

Los Tellabs 8660 son los instalados en el lado de las controladoras y por tanto se conectan a BSCs, RNCs, Routers y posteriormente a la red de Core EPC para los servicios 4G.

Se instalan en estos emplazamientos dos Tellabs 8660 para dar protección y redundancia y se interconectan entre sí configurando la protección ELP (*Equipment and Line Protection*) para garantizar la fiabilidad del medio y de los equipos soportando técnicas de conmutación y protección entre ellos en caso de pérdidas de tráfico o de corte de la fibra.

En las provincias grandes que tienen múltiples Tellabs 8630 además de los Tellabs 8660, son estos últimos los que tienen conectadas la línea GE suministrada por Telefónica para la agregación del tráfico de los nodos por LL.

Cada uno de los Tellabs 8660 proporciona, además de las respectivas conexiones hacia los equipos de los Súper POCs, otras que se indican a continuación. No se entrará mucho en detalle en aquellas conexiones que enlazan ya con la red de núcleo por quedar fuera del alcance de este proyecto esa parte de la red:

- Conexiones con las BSCs a través de interfaces GE. Una conexión mediante GE eléctrico para el servicio O&M con una red /30 y su VLAN correspondiente y dos conexiones más mediante GE ópticos, una de ellas para el Abis y otra para el A+Gb. Estas conexiones también tendrán sus VLANs correspondientes y definidas una red /30.
- Conexiones con las RNCs a través de interfaces GE ópticas. Para cada RNC se define una red /27 para nuestra interfaz de interés, IuB que englobará los dos tellabs cabecera a los que se conecta y todas las tarjetas para tráfico IP que se instalen en la controladora. Habrá una VLAN específica para este servicio.
- Conexiones con los routers que introducen la red del núcleo de paquetes a través de interfaces GE ópticas. Los nuevos Routers IP instalados con la implantación del LTE definirán e implementarán la interfaz S1 para enviar el tráfico del 4G hacia su red de Core.
- Conexiones con los switches de gestión que conectarán con el OSS a través de interfaces GE eléctricas.

- Conexiones con TN coubicado en caso de que lo hubiera mediante interfaz GE óptico. Sólo se conectará uno de los tellabs cabecera a dicho TN.
- Conexiones con el otro Tellabs 8660 coubicado a través de interfaces GE ópticas. Se establecen dos conexiones entre ambos y se configura entre ellos protección ELP y OSPF. Se define entre ellos una red /30.
- Hasta la modernización y migración de todos los emplazamientos, los Tellabs 8660 deberán mantener una conexión hacia los multiplexores ADM ya que el tráfico ATM a la salida del Tellabs cabecera deberá seguir en camino físico de la red *legacy*, ADM, RXI, RNC. Esta conexión desaparecerá cuando ya todos los nodos estén en IP puesto que todo el tráfico hacia las controladoras saldrá por las conexiones GE hacia las mismas.

Se muestra en la siguiente figura la conectividad en un emplazamiento de estaciones controladoras en lo referente a todas las conexiones establecidas desde los Tellabs 8660. El ejemplo mostrado corresponde al emplazamiento donde se ubican en Madrid alguna de las controladoras y que por su complejidad y cantidad de tráfico recibido se ha querido mostrar para identificar todas las conexiones previamente descritas:

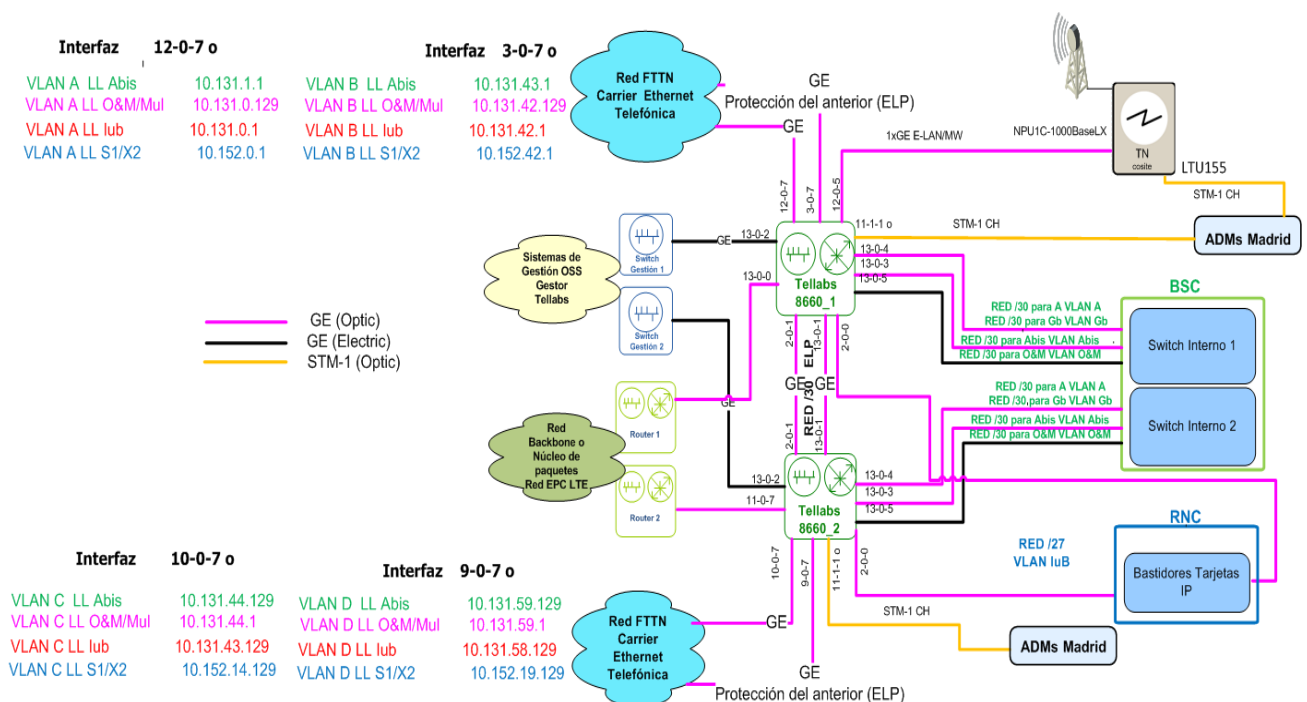


Figura 41: Conectividad de Tellabs 8660 en estaciones controladoras

A destacar de la figura anterior:

- Debido a la cantidad de nodos cuyo tráfico se transporta en esta ciudad por LL, se tiene solicitado a Telefónica en cada uno de los Tellabs de este emplazamiento un GE de agregación que actuará como línea principal y otro GE de agregación que actuará como protección del anterior. Como cada uno de estos GE se termina en una interfaz de línea distinta de su Tellabs, se definen grupos de VLANs distintos en cada GE y con redes también distintas. Se muestra esta situación con las VLANs e IPs para poder comparar con la de la Figura 42.
- Se presenta una única conexión entre cada Tellabs y ADMs pero en realidad tendrá que haber tantas conexiones como ADMs sigan teniendo que multiplexar tráfico en ATM. El objetivo final es que en la red de transporte no haya ningún nodo en ATM y se puedan desinstalar los ADMs pero si por algún motivo ajeno a la operadora no se pudiera pasar a IP todos los nodos, se tratará de encaminar todo el tráfico ATM que quede por el mismo ADM para ir desmontando los demás.
- En este emplazamiento también hay ubicado un TN pero en este caso sólo se conectará el TN al Tellabs mediante la conexión GE desde la NPU para los nodos que llegan por RE en IP, mientras que la salida de la LTU155 del TN con los nodos que llegan por RE en ATM se conectará directamente al ADM correspondiente por estar ubicado en el mismo sitio.
- Como la interfaz por RE es única, se definirán las VLANs e IPs de la misma manera que lo visto en esas interfaces para los Tellabs 8630.

6.3.2.2. Transmisión y Transporte basado en SDH

Se ha visto que en el comienzo de la modernización de la HRAN, se disponía para el transporte del tráfico de un enlace STM-1 no canalizado proveniente de la red de despliegue sobre el cual se podía usar el protocolo POS para llevar tráfico ya en IP. Esta tecnología permite por tanto compartir el enlace para transporte ATM e IP.

Habrán casos aislados en los que los equipos agregadores y/o multiplexadores de la red heredada disponían de un STM-1 canalizado conectado entre ellos o

bien conectado con otros equipos, por ejemplo los TNs. En estos casos y tras la introducción en la HRAN de los equipos Tellabs, sobre dichos STM-1 canalizados se empleaba MLPPP (*Multi Link Point to Point Protocol*) que consiste en agregar múltiples flujos de E1 o VC-12 de 2Mbps con el fin de crear un único enlace lógico punto a punto (PPP, *Point to Point*) de mayor capacidad, compartir la carga de tráfico y ofrecer una protección entre ellos ya que si uno de los enlaces del MLPPP falla, la carga se reparte entre el resto de los enlaces. Lo que se consigue es crear un enlace virtual de Nx2Mbps para poder disponer así de mayor capacidad para enviar paquetes.

La conectividad SHD entre ambos Tellabs será usada para el intercambio a través de ellos de información de enrutamiento empleando el protocolo OSPF (*Open Shortest Path First*) según el cual, como ya se describió anteriormente, los Tellabs podrán conocer el estado de cada enlace y calcular la ruta más corta a cada nodo.

Se implementa compartición de carga en el sentido descendente de la transmisión a través de los Tellabs cabecera.

Esta configuración permitirá exportar las rutas tanto de la parte LRAN como de la parte de las controladoras de manera que los Tellabs conozcan todas las rutas y mantengas las tablas de encaminamiento a nivel global, aportando:

- simplicidad en la definición del enrutamiento en el emplazamiento de controladoras hacia las estaciones base
- simplicidad en la definición de enrutamiento en los Súper POCs hacia las controladoras
- redundancia en caso de fallo en un nodo o enlace de la RNC

6.3.2.3. Transmisión y Transporte basado en Carrier Ethernet

La tecnología Carrier Ethernet es la opción de transporte deseable y hacia la que se encamina la modernización ya que permite el uso de las capacidades del enlace Ethernet para llevar IP nativo.

En esta situación tendremos ya un GE conectando los Tellabs 8630 con los Tellabs 8660 y se implementarán redes ópticas entre ellos. Se provee en este enlace servicios E-line de forma que:

- se usará el protocolo ATM PWE3 para el tráfico de los nodos aún en ATM
- se usará IP extremo a extremo entre ambos Tellabs a través de la línea

La conectividad entre ambos Tellabs basada en IP será usada también en este caso para el intercambio a través de ellos de información de enrutamientos empleando el protocolo OSPF (*Open Shortest Path First*) que hará que sea más fácil para las estaciones base alcanzar o llegar a las controladoras y proporcionará como ya vimos en el escenario anterior:

- simplicidad en la definición del enrutamiento en el emplazamiento de controladoras hacia las estaciones base
- simplicidad en la definición de enrutamiento en los Súper POCs hacia las controladoras
- redundancia en caso de fallo en un nodo o enlace de la RNC

La siguiente figura muestra el esquema genérico de conectividad de la HRAN:

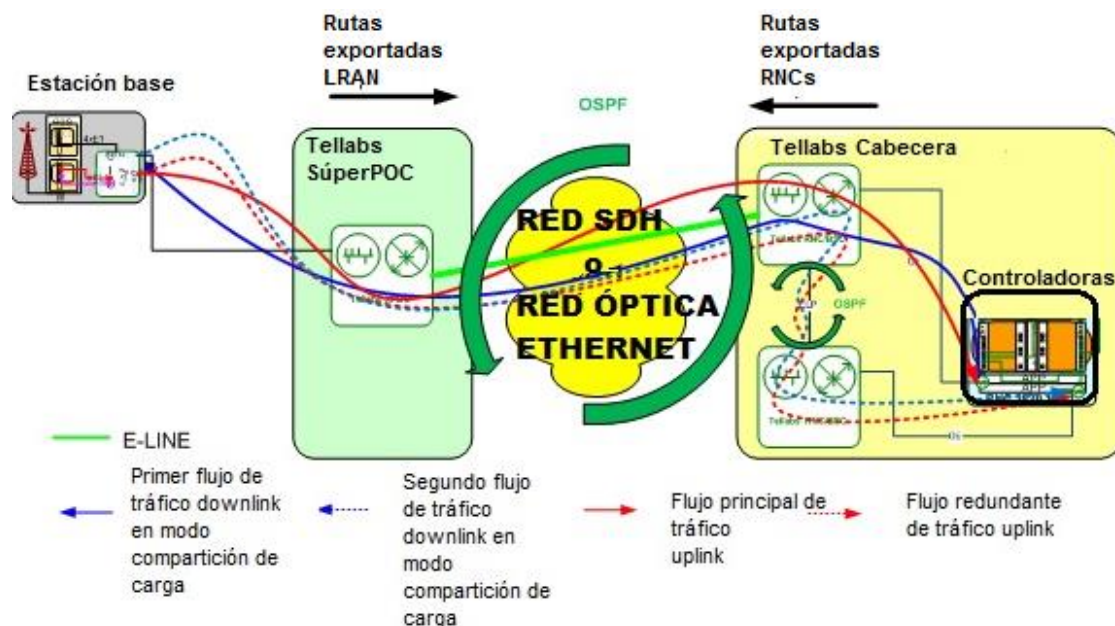


Figura 42: Esquema de conectividades HRAN: SDH o Red Óptica Ethernet

Una vez analizados los distintos escenarios y la topología de la red tras la migración y modernización de la red de transporte, presentamos un esquema genérico para resumir la conectividad extremo a extremo, E2E (*End to End*) de la red de acceso y transporte final:

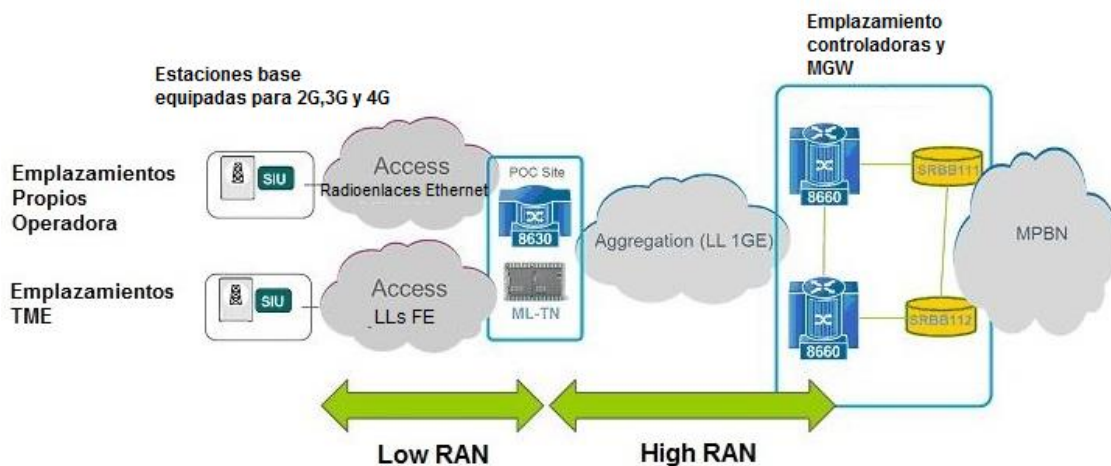


Figura 43: Esquema End to End (extremo a extremo) de la red modernizada

Finalizado el proceso de migración vamos a detallar a continuación el mismo caso del POC de Madrid que vimos en la red de partida, representando ahora su conexión en la red modernizada.

En la actualidad este POC agrega el tráfico de 20 nodos que le llegan por radioenlace a través de los dos HUBs que teníamos ya en la red de partida y además tiene nodo B propio por lo que su salida de transmisión hacia el emplazamiento de las controladoras debe llevar el tráfico de 21 nodos. Las operadoras continúan haciendo nuevos despliegues que hacen que el número de estaciones base en sus redes siga incrementando por la necesidad en parte de dar mayor y mejor cobertura a los usuarios. La línea de transporte actual es un GE alquilado al mismo suministrador al que previamente se había alquilado el STM-1, Telefónica, habiéndose dado éste de baja.

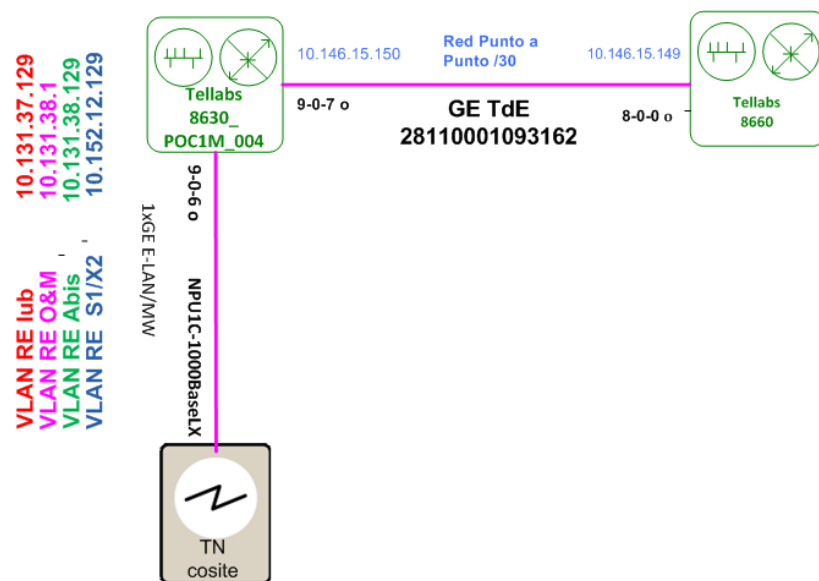
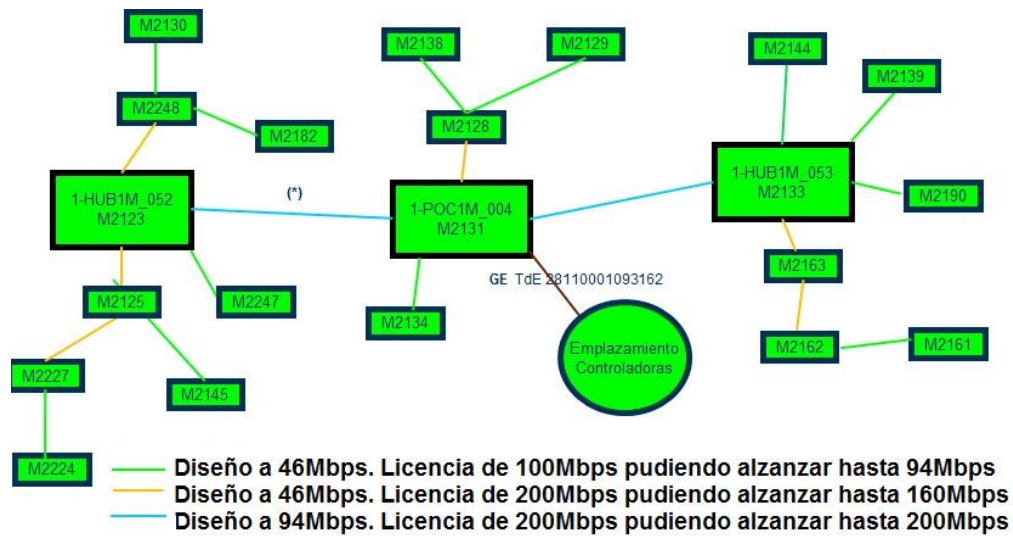


Figura 44: Ejemplo POC de Madrid en la red final

6.3.3. VPNs en la red MPLS final

Como ya vimos la operadora ante la proliferación de servicios basados en IP vio la necesidad de introducir la tecnología MPLS en la red de acceso móvil para disponer de una única red de transporte encargada de llevar todo tipo de datos y de soportar todos los servicios, TDM, ATM, Ethernet, IP...que eran demandados por las diferentes tecnologías que se habían ido desplegando.

Para poder llevar a cabo la migración se requiere de la creación de un núcleo MPLS separado de la heredada red ATM, y del uso de redes virtuales privadas (VPN) que mediante *pseudowires* (pseudocables) extremo a extremo proporcionarán túneles sobre las redes de conmutación de paquetes permitiendo la migración a través de dichos túneles de los servicios de la red heredada.

Al comienzo de la migración se tendrán L2VPN (redes privadas virtuales de capa 2) por las cuales se transportarán servicios nativos sobre redes de conmutación de paquetes IP/MPLS emulando los protocolos de capa 2 para estos servicios. Pero estas redes de capa 2 dejarán de ser necesarias en el momento en el que los nodos tengan su ruta de transporte hasta la entrada al primer Tellabs pasada a Ethernet y la conexión entre Tellabs POC y Tellabs cabecera también sea Ethernet, es decir, dejarán de ser necesarios cuando toda la ruta se *full-IP*.

En este momento pasaremos a usar L3VPN (redes privadas virtuales de capa 3) a través de la red MPLS creada entre ambos Tellabs y emplearemos tanto las etiquetas LSPs para enrutar los nodos como el protocolo BGP (*Border Gateway Protocol*) que permite intercambiar los datos de enrutamiento entre los distintos LSRs que forman parte de la red (eran los routers que encaminaban en función de las etiquetas). De esta forma todos los routers tienen la información de todos los caminos y etiquetas ya que cada Tellabs 8630 tendrá definida una LSP principal hacia cada Tellabs ubicado en emplazamiento de controladora. Es decir, los routers MPLS asignan una etiqueta diferente a cada VPN e incorporan información de cada VPN al proceso BGP que procederá al intercambio de etiquetas asociadas a las VPNs.

En cada equipo Tellabs cabecera 8660 se crean distintas L3VPNs. En estas redes virtuales se irán añadiendo las configuraciones y datos de todos los nodos que entran en un Tellabs 8630 conectado a dicho Tellabs 8660.

En cada Tellabs de Súper POC están configuradas y cargadas las rutas estáticas necesarias para alcanzar a todos los nodos que acaban en él. Estas rutas son aprendidas también por los Tellabs cabecera y los routers de la red de núcleo por el protocolo BGP. Por medio de estas rutas y de las redes privadas virtuales, dispondremos del camino lógico para llegar a los nodos.

En lo que a cada nodo se refiere, será necesario que se carguen en los equipos SIU unos ficheros que contendrán la información de cada emplazamiento y de los puertos, VLANs e IPs usadas. Son los denominados *Scripts*.

A continuación se muestran las tres L3VPNs creadas en los Tellabs cabecera de nuestra red de acceso modernizada y con las tecnologías 2G, 3G y 4G implantadas en la red. Para cada una de las redes privadas, es necesario que sean definidas en los Tellabs 8660 lo que se denomina como instancias (o entradas) de enrutamiento, VRF (*VPN Routing and Forwarding*) para enviar los distintos servicios a los equipos a los que se dirigirán en función de la VPN a la que pertenezca (algunos serán ya equipos de la red principal):

- RAN VPN (VRF RAN): Lleva todo el tráfico y NTP basado en IP/Ethernet. → Alcanzará la RNC y los servidores del NTP ubicados en ella.
- OM RAN VPN (VRF O&M): Lleva todo el tráfico de gestión, operación y mantenimiento de todas las estaciones base (O&M y Mul) → Alcanzará los servicios de los subsistemas de soporte a las operaciones (OSS).
- LTE VPN (VRF RAN LTE): Lleva todo el tráfico del 4G (S1/X2) basado en IP/Ethernet → Alcanzará el núcleo evolucionado de paquetes.

En la siguiente figura se representa una visión global de la red de acceso MPLS mostrando las VPNs que acabamos de describir y el camino que siguen los servicios incluidos en cada una de ellas hasta los equipos remotos. Puede apreciarse también el uso del protocolo BGP (*Border Gateway Protocol*) tanto entre los equipos Tellabs cabecera como entre estos y los routers de la red 4G.

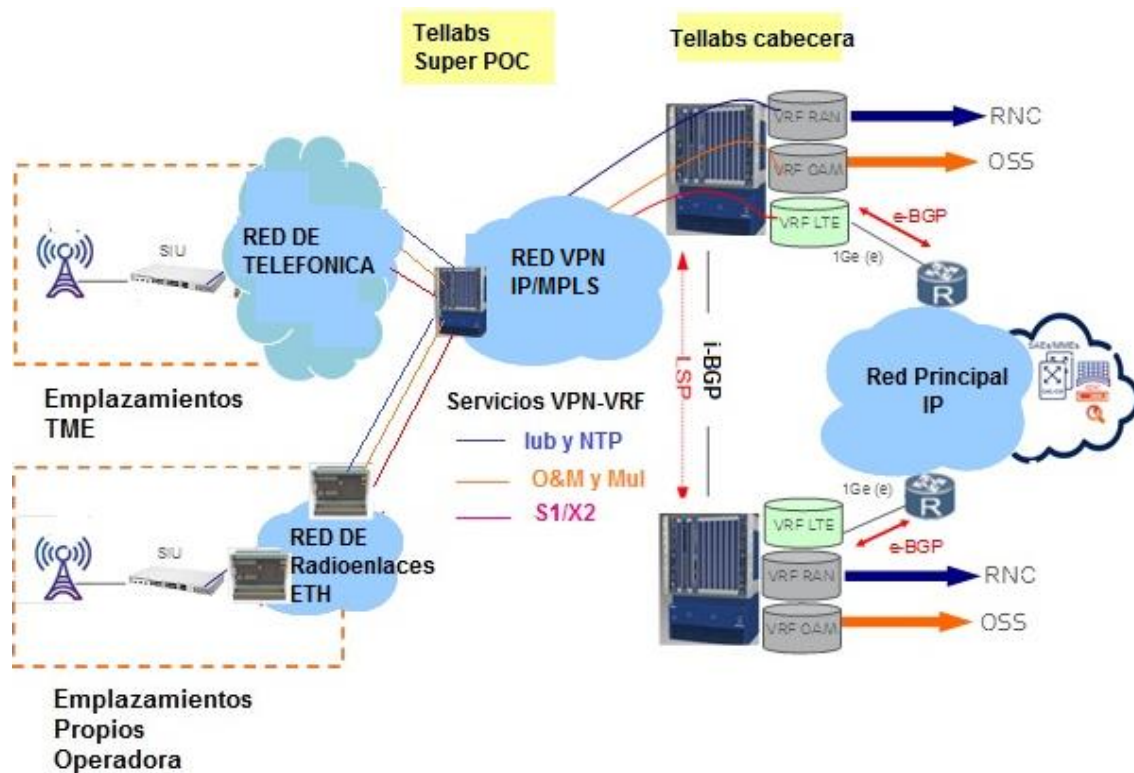


Figura 45: Visión global de la Red MPLS con las VPN y VRF

Con el fin de representar la red MPLS entre ambos Telabs se ha supuesto en la anterior figura que el GE de agregación sobre el que van los FE de los emplazamientos TME está entregado en el Tellabs 8630, situación que se daba como ya se ha mencionado anteriormente en las provincias más pequeñas.

En este último escenario mostrado, se consigue finalmente que todo el tráfico de un emplazamiento viaje de manera conjunta por los mismos enlaces hasta llegar a la red MPLS, desde donde los paquetes se enviarán bien a las controladoras correspondientes, bien a la red principal de paquetes IP del 4G.

Se muestra ahora la conexión del nodo *cosite* al POC de Madrid cuya conectividad se ha representado anteriormente para explicar la configuración que será necesaria hacer en los Tellabs en lo referido a rutas estáticas y VPNs:

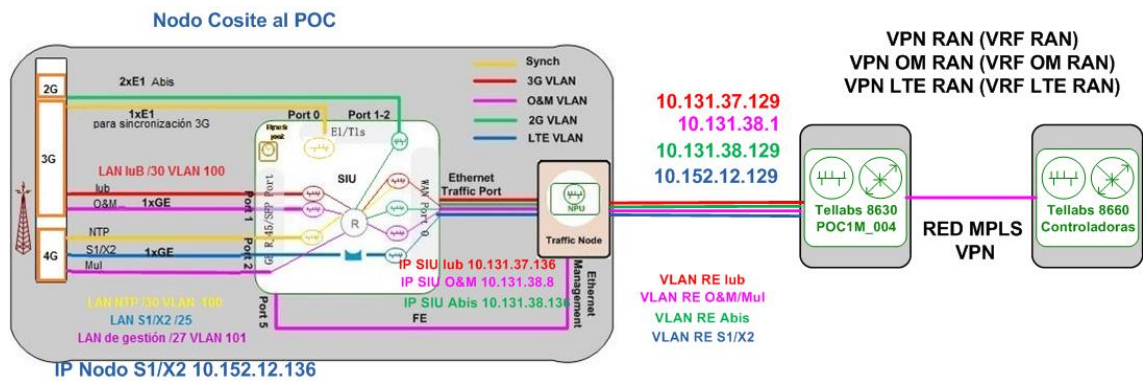


Figura 46: Configuración nodo del POC y VPNs entre Tellabs

Como se explicó en el dimensionamiento IP, las direcciones IP de la SIU para el IuB, Abis y O&M están dentro de la red /25 que se definieron para los respectivos servicios entre SIU-Tellabs y cuya primera dirección es la del Tellabs. Para el tráfico S1/X2 como viajaba en modo bridge por la SIU, la IP del nodo para ese servicio pertenece a la /25 definida entre nodo y Tellabs y cuya primera dirección era también la del Tellabs.

Las 3 VPNs creadas entre el Tellabs del POC1M_004 y el Tellabs cabecera deberá contener la información de las IPs y VLANs tanto del nodo cosite al POC como de todos los que cuelgan del mismo. Además se deberán crear rutas estáticas en el Tellabs del POC para poder llegar a cada uno de los nodos que llegan a esa interfaz del Tellabs. Para el nodo mostrado las rutas deberán ser las siguientes:

- Ruta para llegar a la red /27 de gestión del nodo: Se creará una ruta que indique que para llegar a la red /27 de gestión del nodo el siguiente salto será la IP SIU O&M.
- Ruta para llegar a la red /30 del tráfico IuB del nodo: Se creará una ruta que indique que para llegar a la red /30 del IuB del nodo el siguiente salto será la IP SIU IuB.
- Ruta para llegar a la red /30 del NTP del nodo: Se creará una ruta que indique que para llegar a la red /30 del NTP del nodo el siguiente salto será la IP SIU IuB (vimos que el NTP se definía en la misma VPN que el IuB y por tanto también por el mismo interfaz de la SIU).

- Para llegar a la IP el S1/X2 del nodo: no hará falta en este caso ruta estática en el Tellabs por estar en la misma red el nodo y el Tellabs.

Con estas rutas estáticas y la definición en las VPNs de los Tellabs de todas las IPs y VLANs de cada SIU, tendremos toda la información necesaria para llegar a cada nodo. Estas rutas creadas en el Tellabs 8630 vimos que eran aprendidas también por el Tellabs cabecera y de ahí enviadas a través de las VRFs y los distintos protocolos al resto de los equipos remotos.

7. SITUACIÓN FINAL

La red final que nos encontramos es una red evolucionada hacia el *all-IP* que utiliza *Ethernet* y servicios *Carrier Ethernet* como tecnologías de transporte de nivel 2. A excepción de estaciones base aisladas que no hayan podido modernizarse por causas ajenas a la operadora (permisos municipales o de propietarios de edificios, problemas de accesos o de adecuaciones, limitaciones derivadas de los contratos de adquisiciones o comparticiones de emplazamientos....) el resultado final es una red cuyos equipos, estaciones y medios de transmisión usados para llevar el tráfico que en ellas se genera, se han actualizado y han evolucionado para soportar las tecnologías relacionadas con los protocolos IP.

En la Figura 46 se representó de manera esquemática esta red final donde se puede apreciar el transporte Ethernet en toda ella. La parte de la red de transmisión de acceso que hemos denominado *Low RAN* o comúnmente conocida también como última milla está formada principalmente por radioenlaces Ethernet de la familia Minilink TN de Ericsson aunque en algunos casos se recurre a líneas alquiladas a terceros o al suministro de fibra óptica hasta el propio emplazamiento, mientras que en la parte de agregación o *High RAN* se ha recurrido a equipos MPLS del fabricante Tellabs que se encargan de agregar y transportar los distintos tipos de tráfico disponibles en la red hacia sus correspondientes controladoras, enrutadores, sistemas de operación y mantenimiento....Son completamente compatibles con IP, combinan la rapidez de conmutación de capa 2 con la inteligencia de enrutamiento IP y ofrecen provisión de calidad de servicio.

Estos equipos MPLS emplean pseudocables para el transporte del tráfico y también están interconectados entre sí mediante Ethernet. A través de estos pseudocables se definen unas redes privadas virtuales diferenciadas por etiquetas que permitirán la distinción de cada tipo de tráfico y por tanto conocer el destino al que irán dirigidos.

La red final dispone por tanto de infraestructuras totalmente basadas en paquetes y en IP, requisitos que eran necesarios para la última tecnología desplegada o en proceso de despliegue, el LTE.

8. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El proceso de modernización de la red de transporte descrito en este proyecto tenía como finalidad ver cómo se han ido cubriendo las necesidades de aumentos de capacidad en las redes de transmisión de nuestra operadora en función de las demandas que iban presentándose con la evolución de las distintas tecnologías de comunicaciones móviles, 2G, 3G, 4G.....Debido a que con la aparición de cada nueva tecnología, se iba demandando más capacidad, velocidad y recursos, esta modernización y migración de la red de transmisión se ha ido haciendo de manera gradual y progresiva desde el despliegue de la primera tecnología hasta el LTE actual, optimizando en cada momento el uso de los equipos y espectro radioeléctrico disponibles. No se puede por tanto definir un comienzo y fin de esta migración porque es un proceso vivo que se ha ido adaptando en todo momento a las nuevas necesidades. Se puede estimar que la operadora en cuestión que desplegó su primera red únicamente con el UMTS en ATM, ha invertido en torno a 3-4 años en las progresivas migraciones y modernizaciones que ha ido haciendo en su red de transmisión con la integración del GSM, GPRS, EDGE, HSPA, HSPA+ y LTE y la evolución de cada uno de ellos.

A pesar de que al 4G aún le queda mucho recorrido ya que no está desplegado en su totalidad y además actualmente sólo el 8% de las conexiones mundiales se realizan sobre redes 4G, los fabricantes y las operadoras ya están mirando más allá y se está empezando a definir qué es lo que nos ofrecerá la futura tecnología 5G.

Los fabricantes de dispositivos de redes ya han establecido un calendario para ponerse a trabajar en el 5G. Hasta la llegada de 2016 es tiempo para las investigaciones, pruebas y prototipos, dándose posteriormente dos años para la creación del estándar, otro año para el desarrollo de productos y, finalmente, su despliegue en 2020.

La primera gran diferencia entre el 4G y la idea de 5G que hay actualmente es la frecuencia que se usará. Mientras en 4G lo más habitual es usar frecuencias bajas, entre los 800 MHz y 2.6 GHz, en el caso de las pruebas de 5G que se han llevado a cabo hasta ahora se han utilizado bandas situadas entre los 26 y 38 GHz.

El objetivo de toda nueva generación de red móvil es multiplicar la velocidad de la conexión, pero detrás del 5G hay más que eso. Ya no se trata solo de ofrecer velocidades de vértigo, sino también de hacer que las conexiones ganen en calidad, que aumente el número de terminales al que puede dar servicio cada antena simultáneamente y que se reduzca la latencia.

En lo que a la **velocidad** se refiere, todo apunta a que la velocidad de transferencia que nos ofrecerán las redes 5G, alcanzarán picos 100 veces más rápidos que los enlaces 4G actuales. Esto significa que podremos descargar un vídeo en alta definición que ahora requiere entre dos y tres minutos en tan solo dos segundos con 5G.

Si en estos momentos un usuario intensivo de *smartphone* consume 2GB de datos al mes, se calcula que para el año 2020 multiplicará esa cifra por 1.000.

El otro punto importante en las futuras redes 5G es la disminución de la **latencia** que podría ser reducida casi a un milisegundo lo cual se vería reflejado por ejemplo en la mejora en juegos online o más importante aún a la hora de mantener videoconferencias, en las que tener el menor retardo posible es de vital importancia para una comunicación fluida que nos permita trabajar con alguien que esté lejos de nosotros.

Con este aumento de velocidad y disminución de la latencia se harán posibles aplicaciones hoy en día impensables tales como la interacción multimedia holográfica, el despegue definitivo de la educación a distancia y las plataformas de telemedicina, entre otros servicios, la conducción autónoma o muchos procesos de control industrial.

Otro de los puntos diferenciadores de la futura 5G es que a pesar de que las redes móviles habían sido pensadas en sus comienzos para comunicar personas, con la nueva tecnología se producirá una evolución hacia la **comunicación entre máquinas**. Dos aspectos fundamentales son los que harán que el 5G sea la generación de las máquinas:

- Las altas velocidades que hemos comentado que conseguiremos en 5G no son velocidades que se repartirán entre los dispositivos conectados a una misma antena, sino que las estaciones bases serán capaces de dar

dichas velocidades a cada terminal conectado, reduciendo los habituales problemas que se dan en grandes aglomeraciones. En la actualidad pensamos en aglomeraciones y visualizamos numerosas personas con sus móviles inteligentes o tabletas, pero de aquí al 2020 habrá un crecimiento de dispositivos conectados tales como coches, ropa, zapatillas de deporte, brazos robóticos usados en fábricas.... y otras cosas que hoy en día no alcanzamos a imaginar, por lo que los móviles solo representarán una pequeña parte de los aparatos conectados a las antenas.

- La capacidad de trabajar con distintos tipos y generaciones de redes. Sobre el papel los dispositivos compatibles con la quinta generación serán capaces de cambiar de red sin que el usuario perciba ese cambio (hacia otras redes móviles, WiFi u otro tipo de redes) y lo harán casi instantáneamente.

Para hacer todo esto posible cada una de las celdas de las redes 5G podrá dar servicio a millones de conexiones, por lo que se estima que el número de dispositivos conectados globalmente superará los cien mil millones. Se va a vivir un cambio revolucionario en la forma de comunicarnos, ya que la comunicación no será sólo entre personas sino que se comunicarán vehículos entre ellos, vehículos con centros de tráfico, nuestro hogar con los elementos de seguridad de los que disponga, nosotros con nuestros electrodomésticos...

En nuestro país, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo comenzará a trabajar en la liberación de frecuencias radioeléctricas para el despliegue de la quinta generación de telefonía móvil una vez haya culminado la extensión del 4G de mayor calidad (banda 800MHz). Esta liberación se iniciará una vez definida la parte del espectro radioeléctrico que se empleará para el 5G.

En cuanto a su estandarización y definición, el 5G PPP (*5G Public Private Partnership*) que es un programa establecido por la Comisión Europea trabaja para ofrecer las soluciones, arquitecturas de red, tecnologías y estándares de esta futura generación. También la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) prepara los requisitos de normalización de redes para el 5G y ha creado para ello un nuevo grupo temático abierto a la participación de cualquier interesado.

Y para finalizar qué mejor manera de hacerlo que mencionando la implicación y participación de nuestra universidad Carlos III de Madrid en un consorcio europeo que trabajará durante 30 meses (habiendo comenzado el pasado mes de julio) para desarrollar la arquitectura de red móvil del futuro, novedosa, adaptable y capaz de dar respuesta a las múltiples demandas que generarán los multiservicios de la era 5G. Casos de uso como el control remoto de los robots, la interconexión de los sensores o las exigencias de los clientes móviles del futuro obligarán a disponer de conexiones ultra rápidas y de altísima calidad con niveles de latencia prácticamente nulos.

Como parte de la iniciativa del 5GPPP, nace este consorcio denominado 5G NORMA (*5G NOvel Radio Multiservice Adaptative Network Architecture*), que pretende desarrollar una arquitectura en la que las funciones de la red de acceso y las de la red del núcleo no tengan por qué residir en localizaciones distintas, lo cual haría que se optimizara su funcionamiento de manera conjunta siempre que fuera posible. Propondrá por tanto una arquitectura extremo a extremo que tenga en cuenta tanto la red de acceso radioeléctrico (RAN) como la red de núcleo o principal (Core). Las redes 5G tendrán que ser programables, controladas por software y gestionadas de manera integral para que puedan proporcionar una amplia gama de servicios de manera rentable.

El consorcio prevé que la arquitectura hará posible niveles sin precedentes de personalización de la red para asegurar que se cumplen los rigurosos requisitos de rendimiento, seguridad, coste y consumo energético.

El enfoque *NORMA* rompe por tanto con el tradicional concepto de red heredada ya que adaptará bajo demanda el uso de los recursos de la red móvil (red radio y principal) a los requisitos de servicio, a las variaciones en las demandas del tráfico en tiempo y lugar, y a la topología de red.

Las futuras redes 5G combinarán en un nuevo sistema tecnologías revolucionarias y generaciones de telefonía móvil ya existentes por lo que la nueva arquitectura de red móvil deberá ser capaz de gestionar este complejo entorno de red de múltiples capas y múltiples tecnologías, y dotarles de la flexibilidad necesaria para ejecutar aplicaciones que todavía ni se han concebido.

Proveedores de la industria, operadores, empresas de Tecnologías de la Información, pequeñas y medianas empresas y el mundo académico europeo han unido sus fuerzas para desarrollar esta arquitectura de red móvil para la era 5G. Destacable la participación de nuestra universidad en este ambicioso proyecto que persigue el objetivo de reforzar el liderazgo de Europa en el ámbito de la tecnología 5G. Este grupo realizará un análisis socio-económico de los beneficios que conlleven las innovaciones resultantes de su proyecto y se determinará el valor que puedan aportar al sector, a los usuarios y al conjunto de instituciones públicas los nuevos servicios que esta arquitectura posibilite.

En lo referido a la evolución sufrida por las redes de transporte y transmisión de las operadoras móviles, descrita en este proyecto para una de las operadoras de nuestro país, con el fin de adaptarse a las evoluciones surgidas desde el 2G hasta el actual 4G, parece obvio que seguirán experimentando sucesivas ampliaciones y actualizaciones para poder transportar todos los servicios y capacidades que se prevén serán demandados en el futuro 5G y para adaptarse a los cambios que parece se realizarán en la arquitectura de red de la futura generación.

9. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

1. <https://movilfacil.wordpress.com/2011/03/11/18/> [Último acceso Mayo 2015]
2. <https://www.coit.es/web/servicios/tecnologia/emision/sistemas.html>
Informe sobre emisiones electromagnéticas de los sistemas de telefonía y acceso fijo inalámbrico [Último acceso Mayo 2015]
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Comunicaciones_M%C3%B3viles
[Último acceso Mayo 2015]
4. http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_global_para_las_comunicaciones_m%C3%B3viles [Último acceso Mayo 2015]
5. http://es.wikipedia.org/wiki/Acceso_m%C3%BAltiple_por_divisi%C3%B3n_de_tiempo [Último acceso Mayo 2015]
6. <https://movilfacil.wordpress.com/2011/03/31/cap-9-gprs-2-5-g/> [Último acceso Mayo 2015]
7. Universidad Autónoma. Transparencias Comunicaciones Móviles. Prof: Daniel Ramos [2013/2014]
8. http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Mobile_Telecommunications_System
[Último acceso Mayo 2015]
9. http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_plesi%C3%B3crona
[Último acceso Junio 2015]
10. http://es.wikipedia.org/wiki/Jerarqu%C3%ADa_digital_s%C3%ADncrona
[Último acceso Junio 2015]
11. http://es.wikipedia.org/wiki/Modo_de_Transferencia_As%C3%ADncrona
[Último acceso Junio 2015]
12. http://wikitel.info/wiki/Long_Term_Evolution [Último acceso Junio 2015]
13. <http://www.monografias.com/trabajos93/telefonía-celular-4g/telefonía-celular-4g.shtml> [Último acceso Junio 2015]
14. <http://wikitel.info/wiki/OFDM> [Último acceso Junio 2015]
15. <http://www.monografias.com/trabajos29/informacion-mpls/informacion-mpls.shtml> [Último acceso Agosto 2015]

16. <https://es.wikipedia.org/wiki/Ethernet> [Último acceso Julio 2015]
17. https://es.wikipedia.org/wiki/Open_Shortest_Path_First [Último acceso Agosto 2015]
18. <http://www.xataka.com/moviles/5g-asi-es-el-futuro-de-las-redes-moviles> [Último acceso Agosto 2015]
19. <https://5g-ppp.eu/5g-norma> [Último acceso Agosto 2015]
20. <http://www.ericsson.com/us/ourportfolio/products/microwave-networks> [Último acceso Agosto 2015]
21. <http://www.moonblink.com/store/files/tlab-8630-as-datasheet.pdf>
DataSheet Tellabs 8630 [Último acceso Agosto 2015]
22. <http://www.moonblink.com/store/files/tlab-8660-as-datasheet.pdf>
DataSheet Tellabs 8660 [Último acceso Agosto 2015]
23. "Telecomunicaciones Móviles": Marcombo S. A.
24. "Radio Access Networks for UMTS: Principles and Practice": Chris Johnson
25. "WCDMA for UMTS: HSPA Evolution and LTE": Harri Holma Antti Toskala
26. "The UMTS Network and radio access technology": John Wiley&Sons. 2001